コンピュータとは何だろうか

綾　皓二郎・藤井　龜　共著

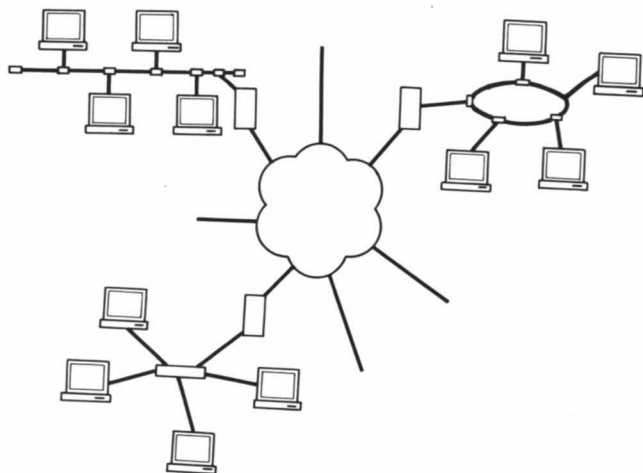
森北出版株式会社

■著者紹介

綾　皓二郎（あや・こうじろう）
石巻専修大学教授
医学博士

藤井　龜（ふじい・ひさし）
芝浦工業大学教授
医学博士

コンピュータとは何だろうか

綾　皓二郎・藤井　　龜　共著

森北出版株式会社

まえがき

本書は，大学や短大などで理系，文系の専門を問わない一般情報教育における「コンピュータ概論」の教科書として著したものです．学習や研究などの知的活動において，コンピュータを仕事の道具として使うことを考えている入門者を対象に，コンピュータとネットワークに関する基本的な知識と本質的な考え方を説明しています．本書では，コンピュータ/ネットワークを技術的立場からだけではなく，文化的・社会的な観点からも記述し，さらにコンピュータ/ネットワークの潜在的可能性までを含めて述べてあります．「コンピュータ概論」を学ぶ目的が最新のコンピュータ技術を学習することを越えて，人間一人ひとりの生き方の探求につながっていることを理解してください．各章の終わりに演習問題を付けておきました．問題の多くは講義を補足するもので，各自が図書館やインターネットで調べて解答することを期待しています．できればワープロでまとめてください．

本書の一部は著者の一人が 1992 年 10 月に市民向けの開放講座で“コンピュータとは何だろうか”と題してお話したことに基づいています．そのときの受講者の一人に OHP シートの原稿をいただきたいと言われましたが，本を出すまで待ってほしいとお答えした約束がやっと果たせることになり，ほっとしております．ですから，市民の皆さんにも是非この本を読んでいただければと考えております．この間，コンピュータ技術は“秒進分歩”の勢いで進歩し，ネットワークも予想をはるかに越えて普及しましたので，古い記述は最新のものに改めましたが，コンピュータの本質は変わっておりません．将来新しい利用技術が出現するかもしれませんが，コンピュータがいわゆるノイマン型であるかぎりは，その本質はこの本で述べたことを超えることはないと思います．

すでにお気づきの方もいらっしゃると思いますが，本書の書名は，朝永振一郎先生の『物理学とは何だろうか，上下』（岩波書店，1979）にヒントを得て名付けたものです．この本を目標に，物事の本質を捉えてそれをわかりやすく書くように努めてみました．それがどれだけ達成できたかは読者の皆さんの判断にお任せするしかありません．

教科書として採用される教員の方へ

この本は，初めて一般情報教育を受ける学生を対象に，近年に起きたコンピュータをめぐる技術環境・利用環境の激変を踏まえて，コンピュータ/インターネットを道具として使う立場から書かれています．そこでコンピュータといっても，主として学生が日常使うパソコン（やワークステーション）を念頭においています．また，コンピュータサイエンスの概念を取り上げる場合でも，あくまで一般学生がコンピュータ使用経験の浅い入門時に無理なく理解できることに限定してあります．コンピュータサイエンスの専門家とは異なった考え方をしている箇所や，厳密性を欠く記述もあるかと思いますが，それらは上記のような本書の立場に起因するものです．ページ数の関係で記述が簡略にすぎたり，漏れている事項もあるかと思います．それらは講義で適宜補うようにお願いいたします．

謝　辞

本書のベータ版に対して貴重なコメントをいただきました富山大学人文学部の筒井洋一助教授およびコメントに加えて図版の一部の作成を手伝っていただいた石巻専修大学大学院の高橋史仁君に深く感謝いたします．また，市民コンピュータコミュニケーション研究会（JCA）の皆さんには，メーリングリストを通じて，ネットワークの在り方やインターネットの使い方についてご教示いただいたり，知的触発を受けたことに厚くお礼申し上げます．最後に，本書を執筆するにあたって参考にさせていただいた巻末の参考文献（WWW のホームページを含む）の著者の方々に深く感謝申し上げます．また，出版にあたってお世話いただいた森北出版の田中節男氏，石田昇司氏に心から感謝の意を表します．

本書の原稿の作成にあたって，共著者の一人は 1996 年度芝浦工業大学教育活動振興助成（課題名：情報処理教育用教材の制作）の援助を受けました．

1997 年 3 月 1 日

綾　皓二郎
藤井　　龜

目　次

コラム目次

第 1 章

コンピュータとは

本章は，第 2 章以降の各論に入るための準備の章であり，コンピュータとはどのような特性をもった機械であるかについて簡潔に説明している．ノイマン型コンピュータの特性と限界はぜひとも理解しておく必要がある．なお，専門用語がいくつか出てくるが，後の章で詳しく学ぶので，ここではあまり気にせず，コンピュータの全体像を概観することを優先させてほしい．

1-1 コンピュータ（computer）とは

“コンピュータとは何だろうか” が本書のテーマである．まず，コンピュータを日本語,英語の代表的な辞書ではどのように説明しているか調べてみると，広辞苑第四版（岩波書店，1991）によると次のようになる．

コンピュータ：主として電子計算機をいう．

電子計算機：トランジスター・集積回路などを用いた高速自動計算機．演算装置のほかに，制御装置・記憶装置を備え，あらかじめ作成したプログラムに従って計算や論理的処理を速やかに行う.コンピューター．

また, OED（The Oxford English Dictionary second edition, Oxford University Press，1989）によると

computer：A calculating-machine ; esp. an automatic electronic device for performing mathematical or logical operations.

このように，どちらの辞書も同じような説明をしているが，これだけではコンピュータがどのような特性をもった機械かわからないであろう．本書ではそれを明らかにしてゆく．

1-2　情報，データとは

最近では日常生活でも“情報”や“データ”という言葉をなにげなく使っているが，JIS（Japanese Industrial Standards：日本工業規格）では次のように定義している．

情報（information）：「事実，事象，事物，過程，着想などの対象物に関して知り得たことであって，概念を含み，一定の文脈中で特定の意味をもつもの」（JIS, 1996）

データ（data）：「情報の表現であって，伝達，解釈または処理に適するように形式化され，再度情報として解釈できるもの」（JIS,1996）

上で述べたように，データに意味を付加した表現が情報である．ただし，コンピュータ/ネットワーク技術で情報を扱う場合には，情報の意味や価値は考えないで，量的大きさのみを考える．すなわち，今日の情報・通信技術は，情報のもつ意味や価値は個々の人間によってまったく異なるのでそれらの判断はすべて人間に任せ，それらを無視することにより築かれている．そこで情報をデータと同じ意味で用いることも多い．

1-3　コンピュータは計算する機械だろうか

コンピュータは電子計算機といわれることもあるが，はたして現在のコンピュータはたんなる計算機にすぎないのだろうか．

1）compute の現在の意味は“計算する”である．

2）compute の語源的意味は，com（共に，いっしょに），putare（考える，解く）である．

3）コンピュータの出発点は，たしかに科学技術計算や事務計算をすばやくすることにあった．

たとえば，ENIAC（電子式数値積分機・計算機，1946）による大砲の弾道計算．また，世界的なコンピュータメーカーである IBM 社（International Business Machines corp.）は，初めはその名のとおり統計処理用の事務機械などを製作する会社であった．

4）しかし，現在のコンピュータは単に科学技術計算や事務計算をするだけでの機械ではなくなった．また高級電卓でもない．コンピュータで自然言

語（われわれ日本人には日本語）による文書作成ができるようになったことがコンピュータの使い方を大きく変えた．

5）コンピュータの演算速度が高速化し，記憶容量が巨大化して，処理能力が飛躍的に向上した．他方，小型化が進み，価格が低下してパソコンとして個人が使えるようになり，普及台数が急激に増加した．さらに，並行して多様で高品質・安価な入出力装置が整備され，コンピュータとコンピュータが結合されネットワークを構成したとき，コンピュータは単なる計算機械から人間が

自己を表現するための道具

コミュニケーションするための道具

共同作業するための道具

に進化した．

6）コンピュータを利用すれば，自己を表現すること，コミュニケーションをとること，共同作業をすることが，他の道具を使用するよりは，非常に簡単に高速にできる．なぜかといえば，コンピュータによる処理の基本が，

データの再利用と編集－複写，加工，保存

にあるからである．

たとえば，自己表現として図面を含んだ文書を作成することを考える．紙とペンで作成する場合，通常下書きをして清書する．下書きの際，修正は消しゴムを使う．ペンで清書しているときは修正が大変煩雑である．これらをコンピュータ上のワープロソフトを使って行う場合，修正，変更，削除などは，きわめて簡単な操作で処理できる．図面を作成し，文書内に貼り付ける（配置する）ことも，作成した文書の一部またはすべてをコピーすることも簡単である．

コンピュータ利用においては

a）データの再利用と編集において，編集部分に新しい機能を付加（バインディング）すること．

b）コンピュータが処理した結果を正しく評価して情報の取捨選択を行うこと．

が大切である．

1-4　コンピュータはどのような機能をもっているだろうか

現在のコンピュータは次のような機能をもっている．

（1）計算（computation），**演算**（operation）

コンピュータの設計時に目標として設定する最も基本的な機能である．スーパーコンピュータは数値計算を主目的にしている．数値計算，統計計算，事務計算など．

（2）記　憶（memory）

コンピュータで処理するさまざまな情報は，記憶装置にファイル（file）と呼ぶ形で保存する．プログラムやデータを記憶する機能のない計算機械はコンピュータではない．データの保存・検索，データベースなど．

（3）解　析（analysis）

データを集計し分析して特性を調べる．文字・音声・画像・動画の処理，

【コンピュータ用語における英略語とカタカナ表記】

コンピュータの世界ではコンピュータの誕生から今日までアメリカの力が圧倒的であり，コンピュータを使いこなすためには相当の英語力が要求される．コンピュータでは技術の進歩が激しいので，コンピュータ用語の訳語を作る時間がなく，英語のままか，カタカナが使われることが多い．とりあえずは，頻繁に出てくるPC，WS，CPU，HDなどの英略語のフルスペルを確かめておくことが大切である．

また，コンピュータの用字・用語をカタカナで表記する場合，対応する英単語が末尾で強勢のない，あいまい母音のときには長音符を付けない書き方が定着しつつある．本書でもそれに準じている．たとえば，コンピューターではなくて，コンピュータと表記する．これはコンピュータや情報を専門にしている研究者の論文誌で行われている表記法が一般誌にまで広まったものである．トランジスタのように長い用語の場合はよいが，短い用語の場合，たとえばユーザでは落ち着きがよくない．

シミュレーション，機械翻訳，パターン認識など．

（4）制　御（control）

コンピュータの高速な計算能力を利用して実時間で機器を制御する用途が工場から家庭にまで拡大している．自動制御，数値制御，遠隔制御，FA（Factory Automation），実験機器の制御，ロボット，交通管制，カーナビゲーション，DTM（卓上演奏・作曲：Desk Top Music）など．

（5）通　信（communication）

人間の知的活動の空間的・時間的拡大により通信（データの伝送・交換）の重要性が飛躍的に高まっている．オンラインシステム，パソコン通信，インターネット，電子メール，WWW（World Wide Web：マルチメディア情報検索・情報発信）など．

（6）表示（display），**印刷**（printing）

すべての処理結果は最終的にディスプレイに表示したり，プリンタで印刷することにより人間に伝えられる．ワープロによる文書処理，DTP（卓上出版：Desk Top Publishing，卓上提示：Desk Top Presentation）など．

（1）の計算機能と（2）の記憶機能がコンピュータの根本的な二大機能である．コンピュータによる処理の基本はどのようなデータであれ，記憶機能と計算機能を用いて，データの再利用と編集を正確に高速に大量にすることにある．この処理はあらゆるコンピュータの利用で基本的に同じで，ただ処理の規模と速さが違うだけである．ただし，現在のコンピュータの利用では，計算機能はワープロなどにみられるように利用者（ユーザー）から隠蔽される傾向にあり，普通のユーザーはコンピュータが計算機械であることを意識しないで使えるようになってきている．現在のコンピュータは，（1）～（6）の機能を統合化した働きをもっている．これを一括して

情報処理（information processing）

と呼ぶ．

これらの機能を人間が統合化して用いることにより，またコンピュータ同士をネットワークで結合することにより，コンピュータは

a）**自己を表現する**
b）**コミュニケーションする**
c）**共同作業**（collaboration）**する**
ような人間の知的活動全般を支援する機能をもつようになった．

現在のコンピュータはその能力の拡大により，人間に命令されて，人間の知的活動を
（1）高速に，（2）大量に，（3）正確に，（4）自動的に
支援するあらゆる機能をもっている．

以下では，コンピュータに支援された知的活動が，科学的な方法と実践的な技術との併用による情報の生産と流通－発信・受信・蓄積であることを説明する．

1-5 コンピュータにはどのような特性があるだろうか

現在のコンピュータには次のような特性がある．

（1）コンピュータは人間に命令されなければ何もできない機械である

コンピュータは人間の命令（操作，指示）なしでは動かない．また，コンピュータはあくまで人間の道具であり，人間が働きかけなければ何もしてくれない．コンピュータが自分自身で動いているように見えても，自分で判断しているように見えても，それらはすべて人間があらかじめ指示した命令（プログラム）を実行しているにすぎないのである．

（2）コンピュータは汎用機械である

コンピュータは，何をするのか，目的があらかじめ定まっていない機械である．すなわち，コンピュータはソフトウェア（プログラムの集まり）を差し替えることにより同じハードウェア（機械部分）を異なった目的・働きに使えるという従来の機械にない特徴をもった製品である．このようにコンピュータの汎用性はソフトウェアによって支えられている．

（3）コンピュータは繰り返しが得意である

コンピュータは，単純な算術演算・論理演算をメモリを利用して高速に反

復することにより，高度な情報処理能力を発揮する機械である．そこでコンピュータは単純な定型作業の繰り返しに向いている．

(4) コンピュータは因果関係が厳密に定まった情報処理が得意である

コンピュータの情報処理は，あいまいさを許さない命令を逐次実行することから成り立っている．そこで，コンピュータはあいまいさをともなうパターン認識や推論などの情報処理は苦手である．

(5) コンピュータの処理には厳密な再現性がある

コンピュータの処理は，誰がやっても，何回繰り返し実行しても，結果はまったく同じである．

(6) コンピュータは電気がなければ動かない

現在のコンピュータはすべて電子式であり，電気エネルギー（バッテリーを含む）なしでは動作しない．

1-6　現在のコンピュータがもっていない機能・特性は何だろうか

現在のコンピュータは，以下のような人間の知的活動それ自体，あるいは知的活動に直接関係することを自ら進んですることはできない．コンピュータができることは人間の知的活動を支援することに限られている．

【コンピュータリテラシー（computer literacy）】

リテラシーとは読み書きの能力を意味する．コンピュータリテラシーといった場合にはコンピュータを道具として仕事に活用する能力のことをいう．同様の意味で情報リテラシーということもあるが，この場合にはコンピュータの使い方よりも情報の意味とか，価値の活用能力を指すことが多い．最近ではマルチメディアリテラシーとかネットワークリテラシーという言葉も使われるようになった．

(1) 思考 (thinking), **着想** (idea)

コンピュータは自ら考えることはできない．コンピュータ自身がアイデアを出したり，計画したり，決定を下したりすることはできない．考えることは人間に与えられた特別な能力である．

(2) 学習 (learning), **自己組織化** (self-organization), **可塑性** (plasticity)

コンピュータは人間に命令されたことをただ実行するだけである．コンピュータは人間が記憶装置に蓄積した記憶を引き出すことはできるが，自分では学習はしない．学習しているように見えてもあらかじめプログラムされた命令に従っているだけである．コンピュータは，教育や経験や条件反射により自ら可塑的に情報処理能力を形成することはできない．

(3) 創造 (creation), **想像** (imagination), **発明** (invention), **発見** (discovery)

コンピュータは人間の科学研究や芸術活動を支援することはできるが，コンピュータが自ら創意工夫したり，独創性を発揮することはない．コンピュータは検索は得意であるが，自ら発明したり発見することはない．また，コンピュータはデータを解析することはできるが，解析に基づいて，解釈したり，構想したり，想像することはできないし，また自ら概念を形成したり拡張したりすることもできない．

(4) 直観 (intuition), **類推** (analogy), **連想** (association)

コンピュータは人間に命令されたことを逐次実行するだけであるから，直観がコンピュータの演算に入り込む余地はない．コンピュータは類似点を指摘できても，それに基づいて他のことを新たに推測したり発想したりすることはできない．また人間のように記憶を連想的に引き出したりすることもできない．

(5) 心理 (psychology), **情動** (emotion)

コンピュータは喜怒哀楽や好き嫌い，快・不快，愛憎，思いやりの感情をもつことはないし，情動に基づいた行動をとることもない．コンピュータは常に冷たい機械である．

（6）心，精神（mind），意識（consciousness），注意（attention）

コンピュータには自発意思とか自由意志はない．知・情・意を含む精神の働きや勘やインスピレーションなどの心の働きもない．コンピュータは自発的な注意はできない．しかし，命令されたことに対して不注意とかうっかりミスとかはない．

（7）価値判断，倫理（ethics），道徳（moral）

コンピュータは，真・善・美や重要・不要などの価値判断はできない．コンピュータには自ら判断する能力はないから責任能力もない．

（8）適応・順応（adaptation）

コンピュータは融通がきかない．コンピュータは環境に柔軟に適応して自ら判断することはない．したがって，コンピュータには慣れとか，飽き，疲れとかもない．

（9）遺伝，本能

人間は種あるいは個人として生命の存続・維持が至上命題であるため，人間にはその知的活動と密接不可分に遺伝や本能が備わっているが，現在のコンピュータには遺伝や本能はない．

（10）統合（integration）

コンピュータは汎用性があるといっても，目的別にソフトウェアを入れ替えたり切り替えたりしなければ機能しないが，人間の脳は遺伝と学習により統合的な情報処理機能を連続的に発揮できる．

コンピュータは人間が命令したことは完全に実行する．すなわち，コンピュータは，ハードウェアの故障がない限り，命令通りに決して間違いを起こすこともなく，飽きることもなく，疲れることもなく，気まぐれを起こすこともなく，どこまでも忠実に実行する．しかし，コンピュータは，命令されたこと以外のことを絶対に実行することはない．そこでコンピュータによる処理の実行では二つの種類のエラー（誤り）が生まれ，人間が損失を受けることになる．

第1種のエラーは，プログラムに論理的エラー（人間の命令に論理の間違いあって起きる誤り）があって，コンピュータが犯す誤りである．コンピュータには人間の命令に潜む論理的エラーに対する発見能力や訂正能力はないから，命令に論理エラーがあれば，コンピュータはそれをそのまま実行して間違いを引き起こす．このように，コンピュータによる処理はいつも正しいとは限らないのである．

第2種のエラーは，プログラム自体は論理的に正しいにも関わらず，人間がプログラムでまったく想定しなかった事態が生じたことにより，コンピュータが状況に対応できないことから生ずる誤りである．この種のエラーは，コンピュータは人間が命令したこと，すなわちプログラムに書いてあることには100%対処できるが，プログラムに書き込まれていないことには何も対処できないこと，すなわち対処能力は0%であることから生じる．

以上のことから，複雑で高度なシステムを信頼性が高く，かつ効率よく運用するにはコンピュータの支援が欠かせないが，何が起きるかまだよくわかっていない分野で，コンピュータにすべてを任せておくような使い方は非常に危険であることがわかる．特に，コンピュータによる自動制御で人命に関わる場合には慎重でなければならないだろう．たとえば，最近の旅客機はコンピュータによる自動操縦システムを備えているが，操縦をすべてコンピュータ任せにしておくと，操縦プログラムが想定していない異常事態が生じたときには重大事故に結びつく恐れがある．ひとたびエラーが起きれば致命的な事故に直結するようなシステムでのコンピュータの利用には，人間とコンピュータの協調作業が不可欠である．

このように，コンピュータは外界の状況に柔軟に対応し環境に適応してゆく能力をもっていないが，人間はたとえ未知のことや未経験のことに遭遇しても状況に柔軟に臨機応変に対応し，環境に適応してゆく能力をもっている．すなわち，コンピュータの情報処理は“固く”，人間の情報処理は“しなやか”であることに注意してほしい．

コンピュータが処理したから正しいのでもなく間違ったのでもなくて，人間が知的活動における自分の能力を補うために，コンピュータに命令してある結果を出させたのである．結果が正しいか，間違っているかの判断は完全に人間に任せられている．コンピュータの使用責任はすべて人間にある．コンピュータを過信しないように，また逆に石頭といって無能呼ばわりしない

ように，じゅうぶんな注意が必要である．

1-7　コンピュータにはどのような種類があるだろうか

現在のコンピュータには多くの種類があるが，用途別，性能・機能別に次のように分類することができる．

（1）用　途　別

汎（はん）用機：大規模計算用，事務処理用ほか

パーソナル機：個人のための事務処理，計算ほか

専用機：特定業務用，サーバー（server），ワードプロセッサ（word processor），ゲーム機ほか

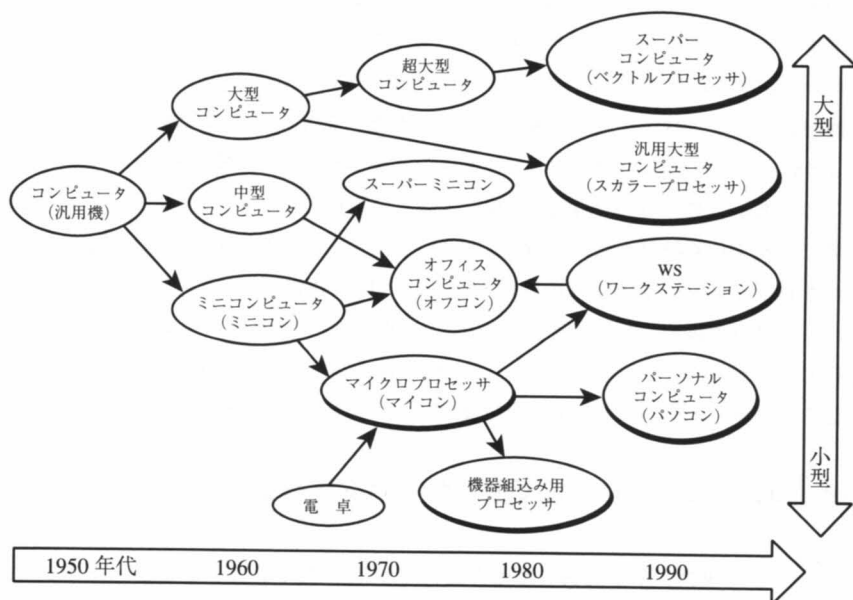
部品機：機器組込み用

現在のパソコン，WS につながる流れは，大きく分けて，電卓に起源をもつものと，汎用機の流れをくむものの二つがある．

図 1-1　コンピュータの種類とその歴史的な発展の流れ

（２）性能・機能別

スーパーコンピュータ（supercomputer）
汎用大型機（メインフレーム（mainframe））
中型機，ミニコンピュータ（minicomputer，ミニコン）
小型機，オフィスコンピュータ（office computer，オフコン）
ワークステーション（WS：WorkStation）
パーソナルコンピュータ（PC：Personal Computer）
マイクロコンピュータ（microcomputer，マイコン）
マイクロコントローラ（microcontroller，マイコン）

現在のパソコンは，昔の大型機以上の性能を有している．たとえば，パソコン（Intel社Pentium 90MHz内蔵）は，1980年代に大学の大型計算センターで活躍したACOS 1000（NEC：1982）の処理速度とほぼ同等である．また主記憶容量，補助記憶容量なども同等かそれ以上を内蔵しており，計算センターではそれらを多数のユーザーが共同で利用していたが，パソコンでは個人が専有して使用できるようになっている．

本書では，入門者用として全般的にパソコンについて，ネットワーク関連でWSについて，歴史的経緯からメインフレームについての技術や使い方，考え方について説明している．パソコンとWSの違いは，性能・価格が一般にWSの方がパソコンよりは上で，採用している基本ソフトウェアがWSではUNIX（ユニックス）であることである（第3章3-3参照）．WSは個人で使われることはまだ少なく，大学や企業での科学技術計算や画像処理のためのエンジニアリングWSや，ネットワークのサーバーとして，また汎用機に代わって，一般事務処理用にも使用されている．ただし，最近ではパソコンの性能が飛躍的に向上した結果，パソコンとWSを使い分ける境界があいまいになってきている．パソコンの方がWSと比べて価格が安い上にはるかに使いやすいので，入門者はまずパソコンの使い方を覚える方がよい．

1-8　コンピュータはどこで使われているだろうか

コンピュータは，今ではあらゆるところで利用されている．キーボードやディスプレイが付いていないので，ときにはそれとは気づかないところでも使われている．

1）スーパーコンピュータ，汎用コンピュータ，オフィスコンピュータ，ワークステーション，パソコンは，それぞれ用途に応じて会社，工場，事務

所，学校，家庭などで広く使われている．

2）コンピュータとは気づかないところで，主として制御系の設備やネットワーク端末として，あるいは機器に組込まれて使われているものに次のようなものがある．

a）電力，ガス，水道などの供給システム，工場における自動制御系，ロボット，商店の POS（Point Of Sale system：販売時点管理），自動販売機，銀行・郵便局の ATM（Automated Teller Machine）や CD（Cash Dispenser），座席予約システムなど．

b）冷蔵庫・炊飯器・電子レンジなどの家庭電化製品（温度制御・時間制御），ワープロ，ゲーム機など．

c）自動車（エンジン制御，カーナビゲーション），電車（運行制御，運行管理），航空機・船舶（エンジン制御，自動操縦，航路管制）など．

1-9　コンピュータはどのようにして生まれ，成長して来たのだろうか

現在のようなコンピュータが誕生してまだ 50 年しかたっていない（表1-1）．この時代は，航空機でいえばちょうどジェット機の誕生からジャンボ機の開発と重なっている．なお，自動車の工業生産は 1896 年から始まっている．

ここで自動車，航空機，コンピュータ産業，さらにそれを支える電子・通信産業のいずれもがアメリカで誕生し，アメリカが世界をリードしていることに注意してほしい．

（1）　コンピュータの誕生と進歩

1）歯車式の計算機械

歯車式の計算機械は，大小の歯車を多数組み合せて歯車の歯の数と回転数を利用した一種の計算器である．1960 年代まで大学などでは数値計算に使われていた．

バベッジ（C. Babbage：英の数学者）の階差機関（difference engine, 1822）および解析機関（analytical engine 1833）．

2）穴あきカードを用いた統計機（punch card system）

穴あきカードを用いた統計機は，厚紙で作成したカードに調査項目に対応づけて穴を開け，穴の有無別にカードの枚数を数え，統計処理する

表 1-1 コンピュータ小史

年代				主な素子
1822	階差機関: C.Babbage，対数表の計算/歯車			
1940	ABC:Atanasoff-Berry Computer(1942)			
	Harvard Mark I:Harvard Univ.(1944)/リレー			真空管
	ENIAC:Pennsylvania Univ.(1946) 大砲の弾道計算/真空管18,000本			
			トランジスタの発明(1948)	
	EDSAC:Cambridge Univ.(1949) Stored Program方式			
1950	EDVAC(1950) John von Neumann			
	UNIVAC I(1951) 初の商用，事務用			
	IBM 650(1953) アセンブラ			
	IBM 704(1954)		FORTRAN 1(1954)	
	UNIVAC II(1956) OS			トランジスタ / 磁気コア / 磁気ドラム
	FUJIC(1956) 日本初			
			(ミニコンピュータ)	
			DEC PDP-1(1959)	
1960			TSS(1961)	
			(電卓)	
			Green Machine(1964)	
	IBM 360(1965)	汎用大型機の時代	SHARP CS10A COMPET(1964)	
	DEC PDP-8(1965)			
			UNIX(1969)	
			(マイクロプロセッサ)	
1970	IBM 370(1970)		intel 4004(1971)	
			(パーソナルコンピュータ)	
			MITS Altair8800(1975)	
	DEC VAX-11(1976)		**(スーパーコンピュータ)**	
	APPLE II(1977)		CRAY-1(1976)	IC / ICメモリ / 磁気ディスク
	Commodore PET(1977)			
	Tandy TRS-80(1977)	パソコン/ネットワークの時代	**(ワープロ)**	
			TOSHIBA JW-10(1978)	LSI
1980			**(WS)**	
	IBM PC(1981)			
	NEC PC9801(1982)		Sun-1(1982)	
	IBM PC/AT(1984)		MS-DOS 3.0(1984)	
	Apple Macintosh(1984)			超LSI
			Sun SPARCstation 1(1989)	
1990	IBM PC DOS/V (1990)			
			Windows 95(1995)	
			Windows NT4.0((1996)	

機械である．

ホレリス（H. Hollerith）による国勢調査統計処理用機械（1889）

3）リレー計算機

ツーゼ（K. Zuse）のZ3（1941）．リレー（継電器）を用いた電気式の計算機械である．

4）真空管式コンピュータの開発

アタナソフ（J. V. Atanasoff）とベリー（C. Berry）によるABCマシン（1942）や，モークリー（J. W. Mauchly）とエッカート（J. P. Eckert）による大砲の弾道計算を開発動機としたENIAC（1946）など．

5）電卓：電子式卓上計算器

オズボーン（T. E. Osborne）によるグリーン・マシン（Green Machine）（1964）

6）マイクロプロセッサの発明

Intel 社の4ビット処理用 i4004 プロセッサ（1971）や，Motorola 社の8ビット処理用 MC6800 など．

7）パーソナルコンピュータ（パソコン）

MITS 社の Altair 8800（1975）や，Apple 社のApple II（1977），Macintosh（1984），IBM 社の PC/AT（1984），IBM社のDOS/V機（1990）など．IBM 社は IBM PC/AT（1984）のハードウェアの技術情報を公開したので，後続の各社はこの互換機を製作・販売することができ，IBM PC/AT 互換機が全世界的に普及し，現在の事実上の標準パソコンの地位を占めることにつながった．

8）スーパーコンピュータ

Cray Research 社の CRAY-1（1976）など．

9）ワークステーション

Sun Microsystems 社の Sun 1（1982），SparcStation（1989）など．

（2）コンピュータネットワーク時代の到来

コンピュータネットワークについては第4章で詳しく説明するので，ここでは簡単に交通網との類似を指摘するにとどめる．コンピュータの性能が向上してくると，コンピュータとコンピュータを通信回線で結合してコンピュータ資源を有効に使う試みが始まった．アメリカでは1960年代に汎用機を中心にした

集中型のネットワークが，ついで1970年代にWSが主体の分散型のネットワークが，さらに1980年代にネットワークとネットワークを結ぶ広域のネットワークが構築され，さらに地球規模のインターネットに発展してゆく．

情報の流れを扱うコンピュータネットワークの成長過程は，人や物の流れを扱う交通網の発達過程と類似しているところがある．この二つのネットワークが取り扱う対象は物理的に異なっても，いかにして効率的で信頼のできるトラフィック（輸送）を確保するかを問題にする点では同じであり，両者の考え方やルール，マナーに共通することは多い．たとえば，どちらのネットワークも結局は人間と人間を結び付ける働きをしている．

（3）コンピュータの急速な発展を支えるもの

1）半導体技術に代表される電子技術の急激な進歩
　IC，LSI，超LSI，MPU，メモリなど

2）通信技術，信号処理技術，情報・符号理論の急速な発展

3）コンピュータサイエンス（付録5），ソフトウェア工学の誕生と発達

演習問題1

1-1　普通の電卓とコンピュータの機能や使い方において共通する点と大きく異なる点をあげよ．

1-2　現在のコンピュータが比較的苦手としている分野や処理の例をあげ，簡単に説明せよ．

1-3　現在のコンピュータは“偉大なる石頭．物知りの愚者である”という．コンピュータのどこが偉大で石頭か，なぜ物知りで愚者かを説明せよ．

1-4　融通の利かないコンピュータと注意の行き届かない人間がどのようにすれば協調してうまく仕事をしていけるだろうか．

1-5　身の廻りにある家電製品や自動車ではどのようなところに組込み型のコンピュータが使われているか．いくつか例をあげて，組込まれているコンピュータの働きを調べよ．

1-6　コンピュータの発達を世代別に分ける考え方がある．各世代のコンピュータ技術の特徴をあげよ．

第2章

ハードウェアとは

本章は，コンピュータの機械部分であるハードウェアについて詳しく説明している．コンピュータの基本構成や動作原理およびディジタル化や2進法について理解を深めてほしい．また，コンピュータを実際に使うには周辺装置の知識も必要である．ハードウェアの進歩がコンピュータの可能性を大きく拡げていることに注意してもらいたい．

2-1 コンピュータは何から構成されているだろうか

コンピュータはハードウェアとソフトウェアから構成されている．コンピュータを利用するということは，ソフトウェアを介してハードウェアを動かし，命令を実行させることである．現在では，電源スイッチのオン/オフや，フロッピーディスクの出し入れなどを除き，ユーザーが直接ハードウェアを操作することはない．

(1) ハードウェア（hardware：金物）

人間の眼で見ることのできる，コンピュータの電子回路を含む機械的な部分で，ハードと略されることが多い．コンピュータ利用の立場からは，システムの最も下位に属する基盤となるものである（図2-1）．

(2) ソフトウェア（software：柔物）

ハードウェアの上に乗ってコンピュータを動作させるためのプログラムの総称で，ソフトと略されることが多い．さらに，コンピュータの利用技術一般を指すこともある．

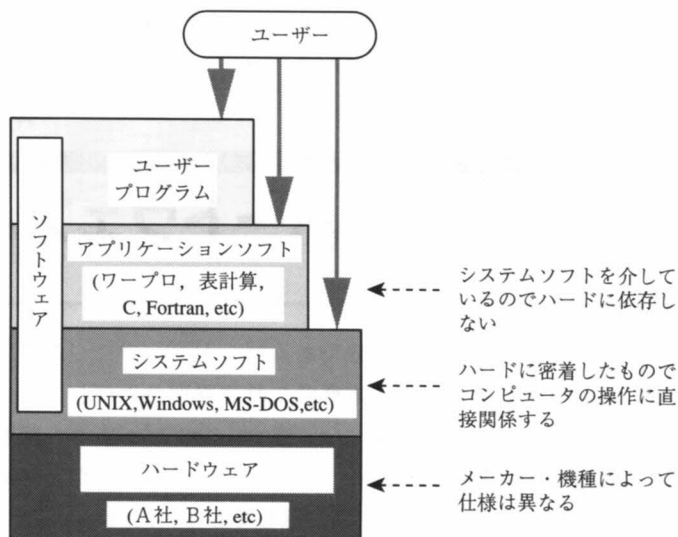



図 2-1 コンピュータのハードウェアとソフトウェアの階層

プログラムとは，コンピュータにおけるひと続きの命令系列で，処理の手続きを指示したものである．このプログラムを書く作業を**プログラミング**，このために特別に用いる人工言語を**プログラミング言語**という．ワープロなどのようにコンピュータを日常的に使うレベルではハードを特に意識する必要はないが，プログラミングではハードの構成と動作原理を理解しておくと有益なことが多い．

2-2 ハードウェアとは何だろうか

現在のコンピュータの基本的な動作原理は，種類・規模・性能が異なっても，すべて同じである．開発に携わったフォン・ノイマン（von Neumann）の名前から，一般に**ノイマン型**（Neumann architecture）と呼ばれている．

ノイマン型コンピュータのハードウェアは，五つの基本的な装置から構成されている．（図 2-2）

人間はコンピュータに対して命令を発することにより，加減乗除の四則演算などの算術演算および論理積（AND），論理和（OR）などの論理演算を行わせることができる．ここで**演算装置**と**制御装置**を合わせて**中央処理装置**（CPU）

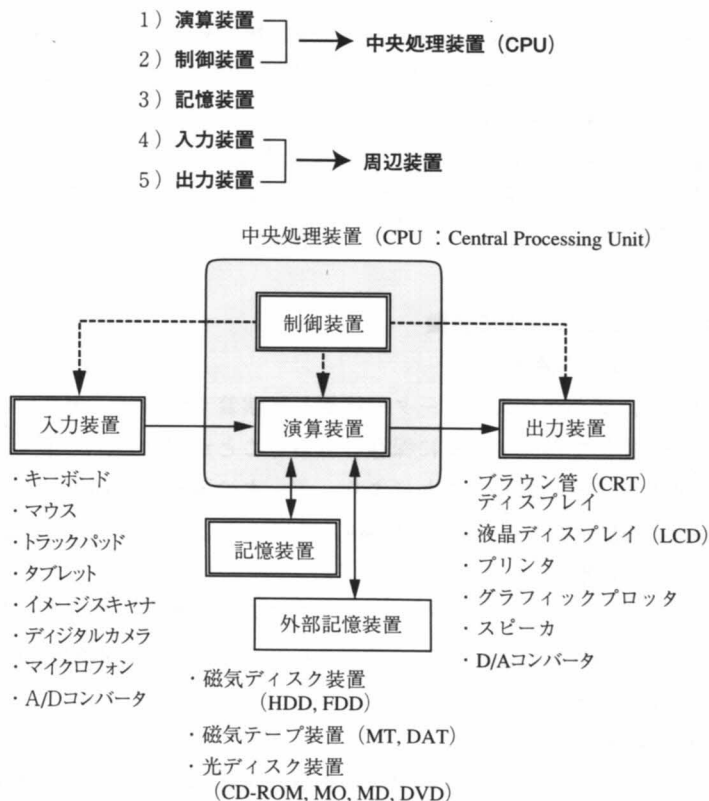



図 2-2　ノイマン型コンピュータの五大装置

と呼ぶ．CPU には命令を解読する**デコーダ**や，演算を実行しデータを記憶装置とやりとりする**レジスタ**群がある．

2-3　コンピュータの動作原理は何だろうか

ノイマン型コンピュータの一大特徴は，プログラムを内部メモリに取り込んで，CPU はメモリから自動的に一つの命令を取り出し解読して，その命令に従って処理を行い，その命令を終えたら次の命令にとりかかるというように，逐次処理を繰り返すことにある．これを**プログラム内蔵**（stored program）**方式**と呼んでいる．

ノイマン型コンピュータのもう一つの大きな特徴は，ディジタルコンピュー

タであり，コンピュータ内部の演算では2進数（binary notation）が用いられていることである．ここで注意すべきことは，人間の脳はアナログ型であり，現実世界はアナログ量（連続量）の世界である．このため，特にプログラミングにはどうしても思考の不自然さを伴う．日常生活では使うことのない2進数で考えねばならないことがあるからである．たとえば，日常の数値計算においては10進数を用いるが，コンピュータ内部での数値計算では2進数を用いている．

ノイマン型コンピュータの特徴

(a) プログラム内蔵方式

内部メモリにプログラムとデータを格納して演算する方式．現在ではそれらをファイル化して外部メモリに保存しておくことができる．ノイマン型コンピュータではメモリがあることにより，データの再利用と加工がきわめて簡単に行える特徴がある．EDSAC（1949）で初めてこの方式に成功した．

(b) 逐次処理

プログラムによって指示された命令を逐次遂行する方式．最近では部分的に複数の命令を並列的に処理する方式がとられているが，基本的には逐次処理方式である．

(c) ディジタル式

コンピュータ内部では2進数が用いられる．情報はすべてディジタル量で数量化，符号化されて処理される．アナログ量はそのままではコンピュータでは取り扱えないので，ディジタル量に変換しなければならない．

(d) 電子式

入出力装置などに一部機械的な部分があるが，本体内部はすべて電子式となっている．電子化はコンピュータの高速性・高信頼性・小型化をもたらした．

(e) 自動制御

現在では，基本ソフト（第3章3-1参照）とハードによってコンピュータの基本的な運用は自動化されている．電源を投入後自動的にコンピュータ利用の環境がユーザーに提供される．

2-4　コンピュータと脳のハードウェアの違い

コンピュータと人間の脳のハードウェアには次のような根本的な違いがある．

1）コンピュータの情報処理はディジタル型の逐次処理で，基本素子の演算は超高速である．他方，脳の情報処理はアナログ型の並列処理で，基本素子の神経細胞（ニューロン）の演算速度は遅い．

2）コンピュータでは中央処理装置（CPU）とメモリが画然と分離しているが，脳では演算部位と記憶部位ははっきりと分かれていない．

3）コンピュータでは数百万個のトランジスタを集積した CPU は，通常一つか数個であり，情報処理は記憶装置に蓄えたプログラムを取り替えて CPU で集中的に行われる．他方，脳には CPU に相当するものはなく，全部で 100 億個を超えるニューロンからなる脳での情報処理は，局在的で階層的で並列的である．たとえば，感覚（入力）情報は，視覚や聴覚などの感覚の種類ごとに異なる部位で，運動（出力）情報はさらに別の部位で処理されており，また感覚でも運動でも情報は，1 次領野，2 次領野など，いくつかの部位で階層的にあるいは並列的に処理された後，連合野で統合化された処理がなされている．なお，神経系には反射の機構があり，すべての情報が上位脳で処理されるわけではない．

4）コンピュータはもっぱら電子的な情報処理機械であるが，脳は電子的に加えて化学的なハードウェア機構をもっている．すなわち，脳では電気的パルスである活動電位（神経スパイク）やシナプス電位の他に，神経伝達物質やホルモンなどの化学的な働きが情報処理や制御に重要な役割を果たしている．

5）コンピュータの記憶方式は番地付け記憶であるが，脳の記憶方式は連想記憶であると考えられている．

6）脳では，ニューロン結合の可塑性に基づく自己組織化機能および自己修復や代償機能があって耐故障性があるが，コンピュータにはハードウェアの自己組織化機能はなく，演算・記憶回路は固定されたままである．故障のソフト的な自己診断機能はあっても，回路の自己修復や代償機能はない．

2-5　ディジタルコンピュータはどのような計算機だろうか

現在のコンピュータは，すべてディジタルコンピュータ（digital computer）であるといってよいが，ここではディジタル化の特徴を考える．

（1）ディジタルコンピュータの特徴

1）データは0と1の2進数を用いて表現される計数型計算機である．

2進数の1桁，すなわちディジタルな情報量の最小単位をビット（bit）という．

2）算術演算や論理演算，記憶には2値論理回路を用いる．

0と1　→　電圧の高低（HとL）
　　　→　電流のONとOFF
　　　→　磁気のNとS

などに対応付ける．

3）計算精度は2進数の桁数を増やすことで高めることができる．

（2）ディジタル化の利点

1）高精度で高速な演算が可能である．

2）データの伝送，記憶，圧縮が容易で大容量化できる．

3）ノイズ（noise：雑音）除去，データ再生が容易である．

4）データの複製（コピー）による劣化がなく，データの再利用，加工（編集，訂正，検索）が柔軟で容易である．

5）回路設計が容易で，構造が単純化され，制御が簡単化される．

6）文字・色などの非数値的データを符号化して扱える．

7）プログラムを内蔵でき，自動制御が可能となる．

（3）ディジタル化の欠点

1）全か無（all or none）の動作をするので，故障・誤動作のもつ影響が大きい．

算術演算では0と1が入れ替わる1ビットの誤りが，場合によっては大きな誤差となることがある．また論理演算では0と1が入れ替わると論理が反転したり，全く異なった論理になることがある．

たとえば，ディジタル式の携帯電話は，ある通信条件以上のもとでは音質の良い通話ができるが，その条件を少しでも下回ればまったく通話できない．一方，アナログ式の場合は，少々の悪条件下でもノイズは増えるものの，それなりに通話が可能である．

2）ディジタル化された情報は専用の機械がなければ読んだり見たりすることができない．

3）実数の計算は有限の桁数で行うため計算誤差が生じることがある．

4）アナログデータのディジタル化では（わずかではあるが）変換誤差が生じる．

（4）コンピュータ内部で2進法が用いられる理由

同じ数値を表すとき，何進法を用いると素子の数が最も少なくなるかという問題を整数の範囲で解くと3進法となるが（演習問題2-13参照），電子式で実現するためには数値を電気信号で扱えなければならないことを考慮すると，現在の技術では2進法が最も都合がよい．コンピュータに用いられる演算素子や記憶素子は，電子式で高速性を満たすものでなければならない．電子的素子を用いて，0と1を物理的に二つの異なった状態に対応させれば，状態間を高速に遷移させることができる，信頼性の高い，高集積化が可能な基本素子を低価格で生産することができる．

【情報量の測度】

ハートレー（R.V.L. Hartley，1928）の情報量 H は，各状態が等確率で生じる場合で，起こり得る状態の数 W の対数で計る．

$$H = \log W \quad [\ \mathrm{bits}\ ]$$

ここで対数の底は2で，情報量の単位はビット（bit）である．ビットは binary digit を短縮して作られた用語である．

たとえば，$2^8 = 256$ の起こり得る状態の数の情報量は

$$H = \log_2 2^8 = 8 \quad [\ \mathrm{bits}\ ]$$

である．

2-6 アナログ信号とディジタル信号

一般にデータは離散量（discrete quantity）と連続量（continuous quantity）に二分することができる．離散量は数えることのできる（countable）量であり，連続量は測ることのできる（measurable）量である．ただし，連続量を測ることは，その連続量をある単位で等分割して一度離散量に直し，その離散量を数える手続きを基にしている．

信号処理の分野では，離散量をディジタル（digital）信号，連続量をアナログ（analog）信号ということが多い．そしてアナログ信号を離散化することを量子化（quantize）するといっている．なお，ディジタル信号は，通常アナログ信号を信号処理技術によって量子化し，2 進数の数値で表した量を意味する．コンピュータ内部で取り扱う信号は，High，Low（H，L）の二つの電位レベルを 1，0 の 2 進数に対応させる，ディジタル化された電気信号（パルス方形波）である．

非電気信号と電気信号

実験や制御で自然界の観測対象となるデータ（物理量・化学量など），あるいは人間を含む自然界に働きかけるデータは，多くの場合，非電気的アナログ量である．したがって，コンピュータと外部計測制御装置との間でデータを入出力するためには入出力信号に関する，非電気/電気変換，電気/非電気変換（transduction），およびアナログ/ディジタル変換，ディジタル/アナログ変換（A/D，D/A conversion）を，さらに通常は電気信号の増幅を必要とする（図 2-3，図 2-4）．たとえば，温度は本来非電気的なアナログ量であるが，これをサーミスタなどのセンサで電気的なアナログ量に変換し，さらにこれを A/D 変換してコンピュータに取り込んで処理することができる．アナログ的な電気信号の例としては，テレビやラジオ放送の地上波がある．

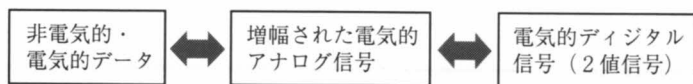



図 2-3 非電気信号と電気信号の相互の変換

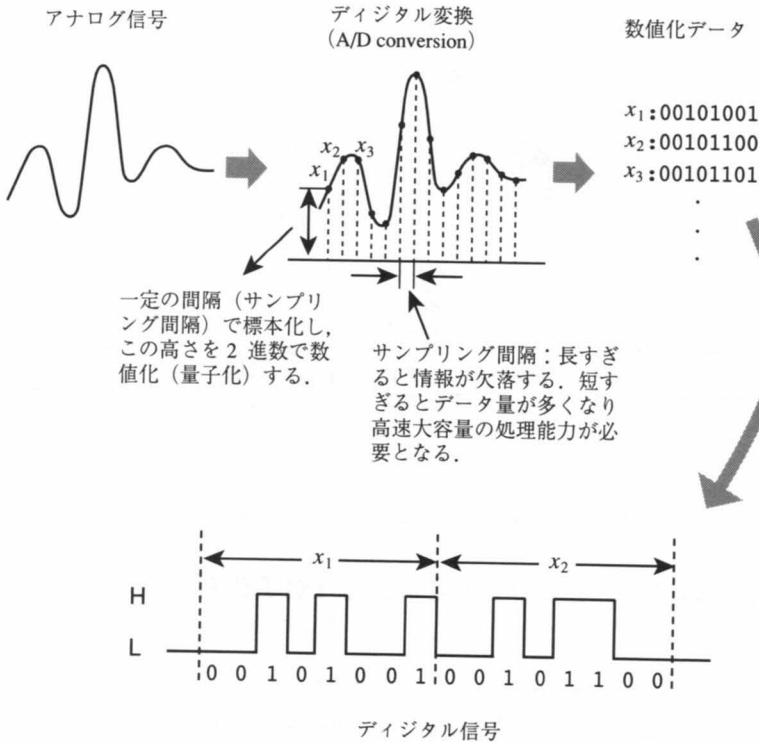



図 2-4 アナログ信号のディジタル化
アナログ信号は，標本化（サンプリング）と量子化を行ってディジタル信号に変換しコンピュータに取り込んで処理する．

アナログ信号は，伝送の途中に混入するノイズ（雑音）だけを取り除くことは難しいが，ディジタル化することによりノイズに強い信号の伝送を実現できる．ディジタル信号では，ノイズが乗った波形の上下に閾値（しきい）を設定することにより波形の整形ができ，ノイズを取り除いて元のディジタル信号を正確に再生することが容易にできるからである（図 2-5）．

ディジタル化の利点を生かすために，従来アナログ信号で扱われてきた処理でも，A/D 変換により，処理の途中段階ではディジタル信号処理されることが多くなっている．今日ではアナログ信号のディジタル化は，ほとんどすべてコンピュータで処理することが前提になっている．

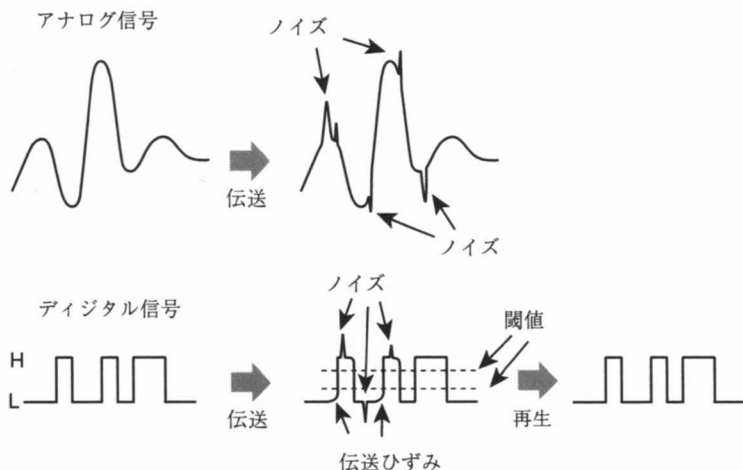



図 2-5 電気信号の伝送とノイズ除去および信号の再生

2-7 アナログコンピュータはどのような計算機だろうか

アナログコンピュータ（analog computer）は現在ではほとんど使われていないが，かつてはシミュレーション（模擬実験）などの分野で使われていた．ここではディジタルコンピュータと対比させて，アナログ化の特徴を考える．

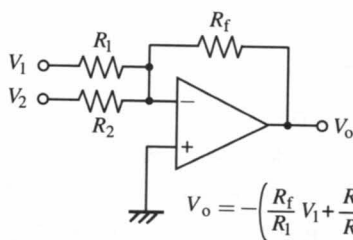
（1）アナログコンピュータの特徴

1）数値は長さや電圧などの連続的な物理量を用いて表現される計量型計算機である．

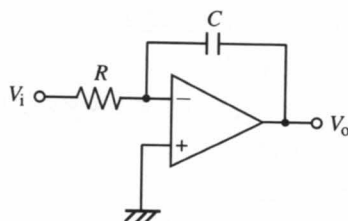
2）計算しようとする数式と相似な（analog）物理現象を利用して，その物理現象を起こさせて物理量を測定することにより数値解を求める．

3）物理現象を利用するために計算精度はよくない．

電卓が普及する前には計算尺というアナログ式の計算器が科学技術計算で広く用いられた．現在ではアナログコンピュータは電子的に演算増幅器を用いて構成することができる（図 2-6）．

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2\right)$$

$R_1 = R_2 = R_f$ の場合は

$V_o = -(V_1 + V_2)$ となる

加算回路

$$V_o = -\frac{1}{RC}\int V_i \, dt$$

積分回路

図 2-6 演算増幅器（operational amplifier）を用いたアナログの加算回路と積分回路
加算回路では 2 変数の和は，符号は反転するが，入力電圧 V_1，V_2 の和とし出力電圧 V_o を測定することにより求まる．

x	y
0.0	0.000000
1.0	0.841471
2.0	0.909297
3.0	0.141120
4.0	-0.756803
5.0	-0.958924
6.0	-0.279415
7.0	0.656987
8.0	0.989358
8.3	0.412118
10.0	-0.544021

人間は数値表からデータが正弦的な変化をしていることをただちに捉えることは難しいが，グラフでは変化の状況は一目瞭然である．

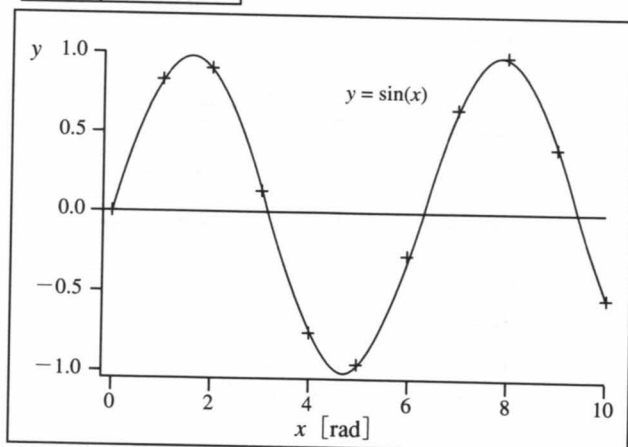



図 2-7 ディジタル表示の数値表とアナログ表示のグラフ：$y = \sin(x)$ の数値データとそのグラフ

（2）アナログ化の利点

1）故障・誤動作の及ぶ範囲が狭く影響が小さい．

2）時間的に変化する現象の表現や観察に優れている．

3）数値の大小をすばやく捉え，大域的に比較するのに優れている．

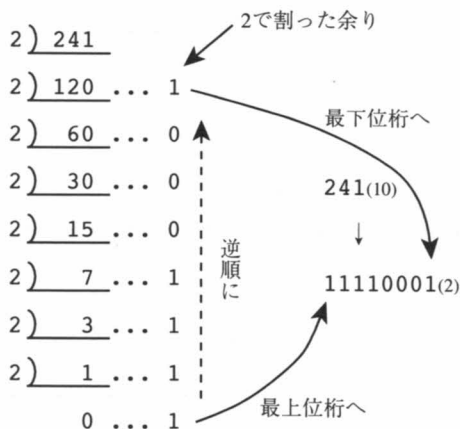
アナログ化は人間にとってわかりやすいので，ディジタルコンピュータでもアナログ的表示は欠かすことができない．数値計算や統計計算の処理結果は最終的にグラフなどを用いた，視覚に訴え直感的に理解しやすいアナログ的な表現をとることが多い（図2-7）．

2-8　2進法（binary notation）とは

日常生活では10進数が，コンピュータ内部では2進数が用いられているので，10進数⇔2進数の変換法について理解しておく必要がある．

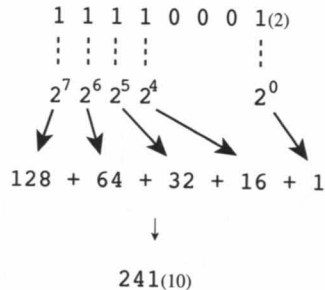
（1）10進2進変換

10進数を2進数に変換するには，商を連続的に0になるまで2で除してゆく連除法を用いる．

たとえば

10 進数を 2 で割ったときの最初の余りが 2 進数の最下位桁になり，順次上位桁に余りを記述する．

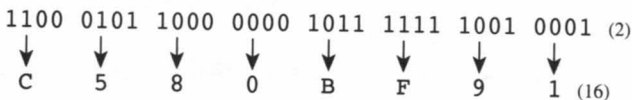
（2） 2進 10 進変換

2 進数で 1 となっている桁の重み（最下位桁が 2 の 0 乗，順次 2 の 1 乗，2 乗，…）を加算したものが 10 進数となる．

たとえば

注：以後本書では 10 進数は（10），2 進数は（2），16進数は（16）をそれぞれ数の後に付けて表記する．

（3）10 進数，2 進数，16 進数による表示

コンピュータ内部では 2 進数が使用されているが，外部に表示する場合 2 進数では桁数が多くて取り扱いが不便である．そのため，2 進数 4 ビットを 1 桁とする 16 進数（hexadecimal number）を用いることが多い．

そこで 2 進数 32 ビットであれば，16 進数の 8 桁で表現できる．たとえば，2 進数　11000101100000001011111110010001　は右端の最下位桁から 4 桁ずつ区切り，

となる．16 進数による表現は，2 進数のビットパターンとの対応がとりやすく，制御やネットワーク管理などでパラメータの指定のために用いることがあるのでよく理解しておくことが必要である．

10 進数	2 進数	16 進数
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F
16	10000	10
17	10001	11
.	.	.
.	.	.
.	.	.

BCD コード
(Binary Coded Decimal)

$29_{(10)}$

$0010\ 1001_{(2)}$

10 進 1 桁を 4 桁の
2 進数で表示する．

コンピュータ内部では，通常 8 ビット単位で情報を表現する．8 ビットをまとめて **1 バイト**（B：Byte）と呼ぶ．そこで 32 ビットコンピュータの場合，取り扱う情報の基本単位は 32 ビットであるが，これは 4 バイトとなる．4 バイトを **1 ワード**（word）と呼ぶ．なお，コンピュータでの 1 KB（キロバイト）は 1000 バイトではなくて，1024（2^{10}）バイトであることに注意する．

（4）コンピュータにおける負数の表現

コンピュータ内部では，通常負数は**2の補数**で表す．

たとえば，−45を8ビットの2の補数で表現すると次のようになる．

先頭ビットは符号ビットである（0は正数，1は負数を表す）．
このように，ディジタルな数値の表現では先頭の符号ビットが反転するとまったく異なった数値となってしまうことに注意する．

1の補数：1を0，0を1に反転したもの
2の補数：1の補数に1を加えたもの

（5）2進法による演算方法

2進数による四則演算は，用いる数字が0と1の2種類に限られるほかは，桁上げ（carry），借り（borrow）など，基本的に10進法の演算と変わりがない（表2-1）．

表2-1　2進法の和と桁上げおよび差と借り

X	*Y*	和	桁上げ	差	借り
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	1
1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	0	0

（a）加算

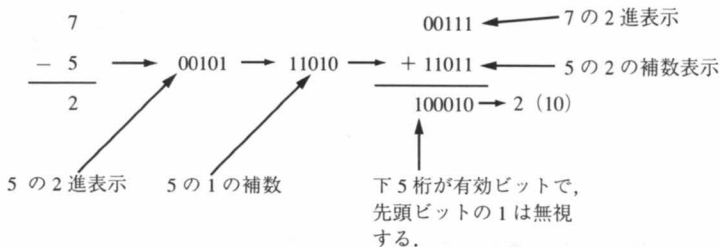
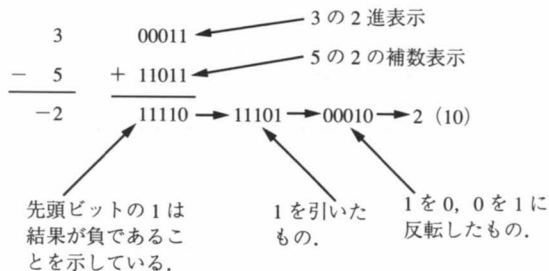
たとえば，10進法での加算8 + 5 = 13は，2進法では桁数を5桁に限定して5ビットで計算すると次のようになる．

8	01000
+ 5	00101
13	01101

先頭ビットの0は結果が正であることを示している

(b) 減算

減算は，引く数の2の補数を用いて，加算になおして行う．

たとえば，7 − 5 = 7 +(−5)= 7+(5の2の補数) から，2進法では5ビットで計算すると次のようになる．

たとえば，3 −5 = 3 +(−5)=3+(5の2の補数) から，2進法では5ビットで計算すると次のようになる．

(6) 2進法による数値の表現

コンピュータ内部でレジスタを用いて数値を表現する場合，レジスタの最上位桁をMSB (Most Significant Bit) と呼び，通常これを符号ビットとし，0は正数，1は負数を表し，負数は2の補数で表現する．また最下位ビットを

LSB（Least Signinicant Bit）という．コンピュータ内部では整数と実数とでは表現方法がまったく異なる．

整数の表現には，通常小数点がLSBの右側にあるとみなす，固定小数点表示が用いられる．32ビットのレジスタで整数を表す場合の内部表現を図2-8に示す．この場合，整数は31ビットを用いて数値を表すため，演算精度は約10桁である．

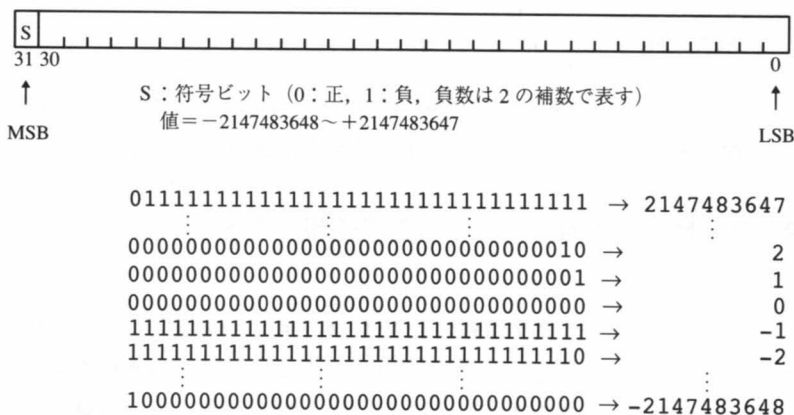



図2-8 整数の内部表現：32bitの場合

他方，実数の表現には，通常小数点の位置が固定されない，浮動小数点表示が用いられる．コンピュータ内部で扱える実数は，以下のように，数学の実数とは異なるので，これを浮動小数点数という．レジスタでの浮動小数点数の表現はコンピュータの機種により違いがあり，パソコンやWSではIEEE（米国電気電子技術者協会）形式という数値表現が用いられている（図2-9）．浮動小数点数（単精度，4バイト）の場合は，指数部をもっているため大きな数（約2の128乗）から小さな数（約2の－127乗）まで表現できるものの，仮数部は23ビットしか使えないため，演算精度は約7桁と整数と比較し悪くなっている．ただし，より詳しい精度が必要な場合には，ソフトウェア的に2ワード（倍精度，8バイト）あるいは4ワード（4倍精度，16バイト）使って表現し，高精度の計算ができるようになっている．

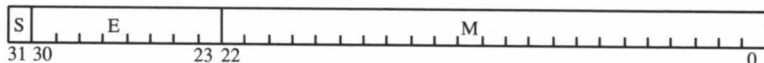
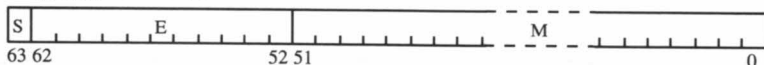



図 2-9 浮動小数点数（実数）の内部表現：IEEE833 規格の場合

2-9 コンピュータ内部における文字情報の表現

コンピュータ内部での文字情報の表現は，あらかじめ各文字に対応づけられた 2 進数で表わされる符号（コード：code）を用いている．日本語文字コードは，インターネットでは 7 ビット JIS，パソコンではシフト JIS，UNIX マシン

【コンピュータを用いた数値計算と誤差】

連立 1 次方程式の解法や微分，積分などの数値計算は，コンピュータの最も古くからある重要な利用法である．コンピュータを使えば，解析的に厳密解を求めることが不可能な場合でも，実用上さしつかえない範囲で数値的に近似解を求めることができる．コンピュータによる数値計算では，レジスタのビット数が有限であることから，有限桁計算に伴って誤差（error）が発生する．これを丸め誤差という．また，近似式や近似解法を用いることによって生ずる誤差もある．これを離散化誤差，あるいは打ち切り誤差と呼ぶ．コンピュータの内部では 2 進数を用いるが，10 進数から 2 進数の数値に変換するときに誤差が生ずることがある．たとえば，コンピュータでは 10 進数の 0.1 を 10 回加えても厳密には 1.0 にならない．このように実数をコンピュータ内部で扱うときは誤差に注意しなければならない．

では EUC が主として用いられている．ユーザーは自分が使用している文字コードを十分に意識してコンピュータを使っていく必要がある．

（1）ASCII コード（American Standard Code for Information Interchange：米国情報交換標準コード，アスキーコード）

ASCII コードはコンピュータ内部での文字情報の表現や，周辺機器との情報の交換にもっとも一般的に使われている符号体系である．英字アルファベット（大文字，小文字）と数字や記号，それに特殊な制御記号など 128 文字が 7 ビットで構成され，内部表現や伝送で利用される．日本の JIS コードは基本的に ASCII コードにカナを加えたものである（表 2-2）．

表 2-2 ASCII コード表

【上位 3 ビット】

【下位 4 ビット】	0	1	2	3	4	5	6	7
0	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
4	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
A	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
B	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
C	FF	FS	,	<	L	\	l	|
D	CR	GS	-	=	M	]	m	}
E	SO	RS	.	>	N	^	n	~
F	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

例：大文字の A は上位ビットが 4，下位ビットが 1 であるので，16 進で 41 となる．したがって，A の 2 進コードは 0100 0001 となる．

16 進で 00 から 1F と 7F は制御コードで，

LF：Line Feed（行送り），CR：Caridge Return（復改），

DEL：Delete（削除）などの意味をもつ．

(2) 漢字コード

JIS などで制定されており，漢字，かな文字は文字数が多い（約 6000 文字）ため 2 バイト（16 ビット）で構成されている．たとえば，漢字の「花」は 16 進で 89D4 つまり

1000 1001 1101 0100

となる．また，ASCII コードの「A」は 16 進で 41 つまり 0100 0001 となるが，漢字コードの「Ａ」は 16 進で 8264 つまり 1000 0010 0110 0100 となる．なお，伝送には 7 または 8 ビットの JIS コードか，特殊な制御文字を使ったシフト JIS コードが用いられる．

表 2-3　漢字コードのビット長とパリティ

漢字コード	ビット長とパリティ（注 3）
新 JIS 漢字（1983）	7 ビット偶数パリティまたは 8 ビットパリティなし
旧 JIS 漢字（1978）	7 ビット偶数パリティまたは 8 ビットパリティなし
EUC (Extended UNIX Code)	8 ビットパリティなし
Shift JIS	8 ビットパリティなし

(3) Unicode（ユニコード）

1 文字をすべて 2 バイト固定長で表現する新しい国際的なコード体系．ASCII コードとの共存が不可能とか，16 ビットではすべての文字を表現できないこと，特に漢字の異字体や人名，地名の表現などに問題を残している．

注 1：ワープロなどの日本語入力のモードでは**全角**，**半角**を区別するが，全角は 2 バイトの漢字コード，半角は 1 バイトの英数字・カナコードである．したがって，全角の英数字・カナは半角の英数字・カナとコード上区別される．なお，半角のカナは使わない方向にある．

注 2：プログラミング言語では基本的に ASCII コードを用いている．

注 3：パリティ（parity）とは，情報を伝送する際にノイズなどによって誤って伝送しないように考えだされた，誤り検出符号である．奇数パリティと偶数パリティがある．偶数パリティの場合，たとえば「A」のコードは 41（16）すなわち 1000001 となる．この 7 ビットのうち 1 の数は合計 2 個で偶数であるので，この 7 ビットのコードに付加するパリティビットは 0 として，01000001 を送信する．一方，「C」のコードは 43（16）すなわち 1000011

で 1 の数は合計 3個で奇数である．この場合にはパリティビットを 1 として 1 の数を偶数にして，11000011 を送信する．情報を受信する際，1 の数が偶数かどうかを調べ，もし偶数でなければ送信側に再送を要求し，情報を誤って受信しないようにする方式である．

2-10　論理演算・算術演算と論理回路

コンピュータの内部では，情報はすべて 2 進法を用いて表現され，論理回路と呼ばれる 2 値回路によって処理される．

(1) 論理回路（logical circuit）

真（T：True）か偽（F：False）かのいくつかの入力に対して，たとえば 1 を真，0 を偽に対応させて，1 か 0 かの結論を出力する回路で，入力に対してただちに結論が出る**組合せ回路**（combinational circuit）と，入力とそれまでの内部状態から結論が出る**順序回路**（sequential circuit）の 2 種類があり，実際の回路はこれらを組み合せて実現する．

(2) 組合せ回路（combinational circuit）

入力変数の状態によって出力が決定する論理回路を組合せ回路と呼ぶ．論理は入力に対する出力の関係を 1，0（または H，L）を使って表した**真理値表**（truth table）を用いて表現する．

真理値表

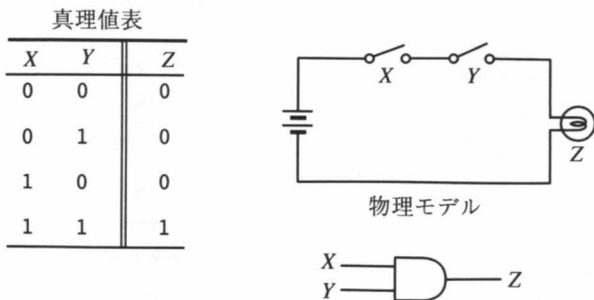
X	Y	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

論理関数式：$Z = X \cdot Y$　　MIL(MILitary standard)記号

図 2-10　AND の真理値表と AND 回路

（a）AND（アンド）**回路**（論理積回路）

二つの入力 X，Y が共に1の場合のみ出力 Z が1となり，その他はすべて0となる回路．X，Y 両方のスイッチが共にオンの場合のみランプ Z が点灯し，その他の場合は消灯する（図2-10）．

（b）OR（オア）**回路**（論理和回路）

二つの入力 X，Y のどちらか一方でも1の場合出力 Z が1となる回路．X，Y どちらか一方のスイッチがオンならばランプ Z が点灯し，両方オフの場合のみ消灯する（図2-11）．

真理値表

X	Y	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

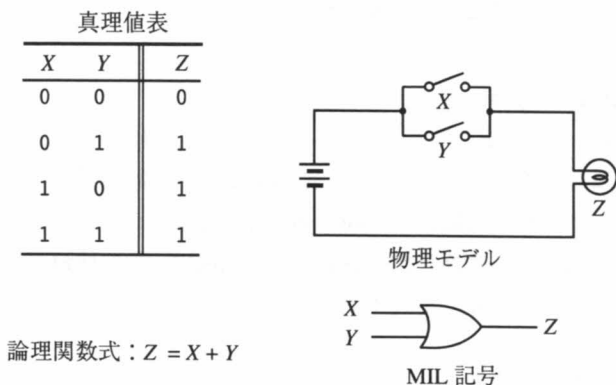



図2-11　ORの真理値表とOR回路

（c）NOT（ノット）**回路**（論理否定回路）

入力 X が1なら0，0なら1を出力する回路．インバータ（inverter）ともいう．スイッチ X がオフの場合，出力 Z は $+V$［V］でH，すなわち1となる．

真理値表

X	Z
0	1
1	0

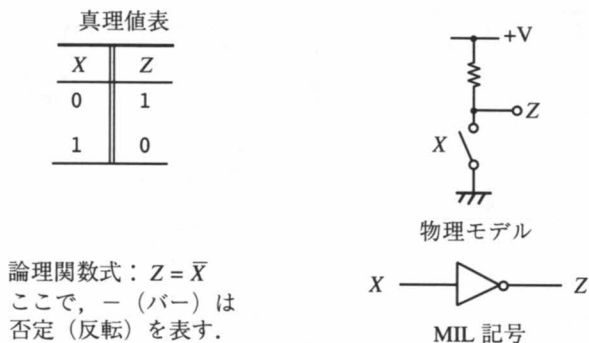



図2-12　NOTの真理値表とNOT回路

スイッチ X がオンの場合は，出力 Z は 0［V］で L，すなわち 0 となる（図 2-12）．

（d）EXOR（エクスクルーシブオア）**回路**（排他的論理和回路）

二つの入力 X, Y が互いに異なる場合に出力 Z が 1 となり，同じ場合は 0 となる回路．スイッチ X がオンで Y がオフ，または X がオフで Y がオンの場合ランプ Z が点灯し，X と Y が同じ状態（オンまたはオフ）の場合は消灯する（図 2-13）．

真理値表

X	Y	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

論理関数式：$Z = \overline{X}\,Y + X\,\overline{Y}$
$= X \oplus Y$

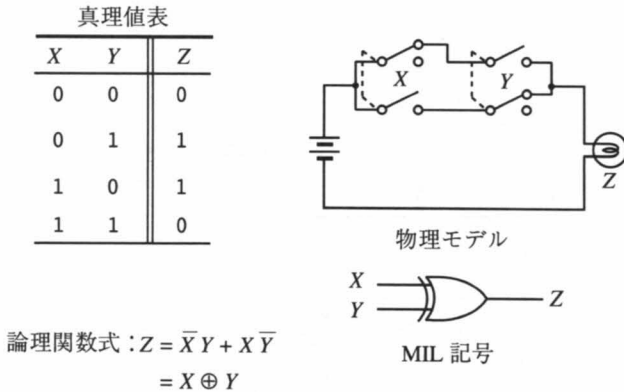



図 2-13　EXOR の真理値表と EXOR 回路

（e）半加算器（half adder）

2 進数の算術演算のうち，最も基本となる加算（addition）を行う装置を加算器（adder）という．最下位桁の加算を行うため，下位からの桁上げ（carry）の入力がないのが，半加算器である（図 2-14）．

真理値表

A	B	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

A
B
S（和）
C（桁上げ）

論理関数式：$S = \overline{A}\,B + A\,\overline{B} = A \oplus B$
$C = A\,B$

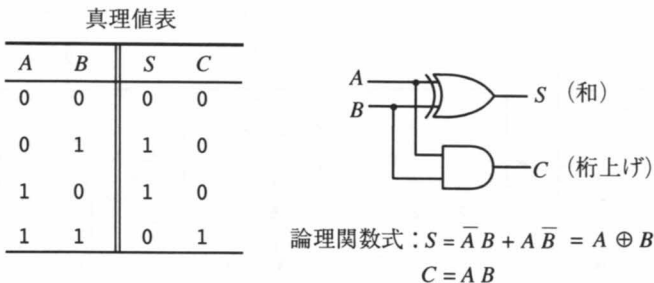



図 2-14　半加算器の真理値表と半加算器

(f) 全加算器 (full adder)

下位からの桁上げの入力を考慮した加算器が，全加算器である（図 2-15）.

真理値表

A	B	C_i	S	C_o
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

論理関数式：$S = \overline{S_i} C_i + S_i \overline{C_i}$

$C_o = A B + S_i C_i$

ただし，$S_i = \overline{A} B + A \overline{B}$

（下位からの桁上げ）C_i

A

B

S_i

S（和）

C_o（桁上げ）

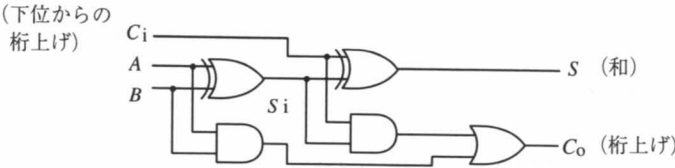
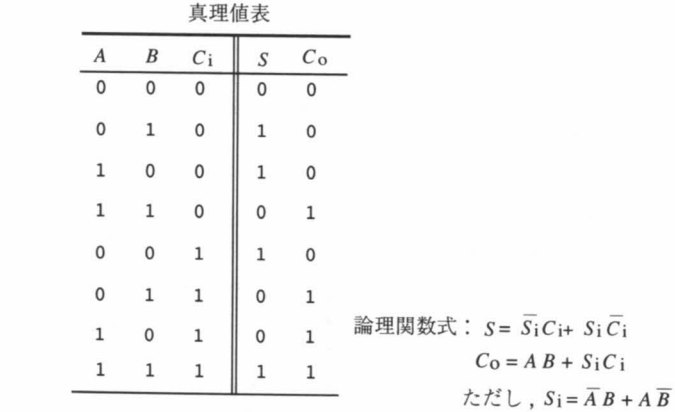



図 2-15　全加算器の真理値表と全加算器

たとえば，4 ビット加算器は 1 個の半加算器と 3 個の全加算器を用いて構成できる（図 2-16）.

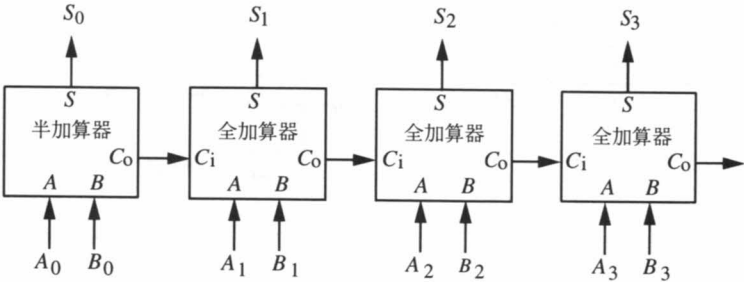



図 2-16　4 ビット加算器の構成

(3) 順序回路（sequential circuit）

順序回路は出力が入力だけでなく，回路の内部状態によって決定される論理回路である．最も基本的な順序回路はフリップフロップで，H と L の二つの安定状態をもつことから，1 個のフリップフロップで 1 ビット（1，0）の情報を記憶したり，計数したりする機能がある．

(a) フリップフロップ（Flip-Flop，FF）

フリップフロップは順序回路の最も基本的なもので，遊園地のシーソーのような働きをするものである．すなわち一方のトランジスタが OFF になれば（状態 1 または H），他方のトランジスタは必ず ON になる（状態 0 または L）動作をする回路である（図 2-17）．外部からの信号（trigger：トリガ信号，clock：クロック信号）に合わせて反転するものを双安定マルチバイブレータ（bistable multivibrator）または単に**フリップフロップ**と呼ぶ．トリガのかけ方によって，SR-FF（Set Reset FF），JK-FF，D-FF（Delay FF），T-FF（Trigger FF）がある．フリップフロップはコンピュータの重要な回路であるレジスタ（register）やカウンタ（counter）およびメモリセル（memory cell：メモリ要素）に応用されている．

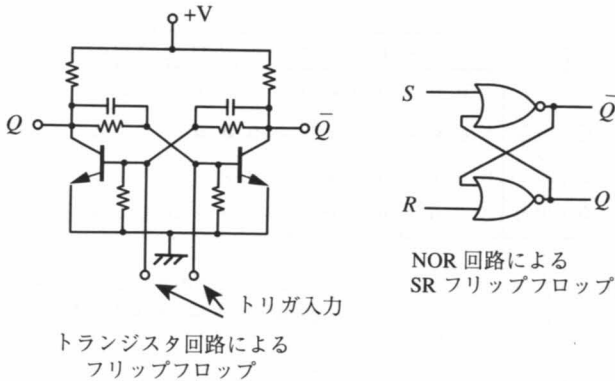



図 2-17　フリップフロップ回路の例
Q，Q は，一方が H になれば他方は必ず L となる．

(b) カウンタ（counter）

フリップフロップにパルス信号を入力して状態を反転させる場合，出力端子の一方（たとえば Q 側）に注目すると，2 回のパルス信号で元の状態に戻る．これを応用することで入力信号の周波数を 2 分の 1 に落とすことができる（分

周器：divider)．さらに，複数のフリップフロップを直列に接続することにより，入力パルスの数を数えるカウンタを構成することができる．図 2-18 は 4 段のフリップフロップを用いた非同期式 4 ビット 16 進カウンタの例で，0～15 までの 16 の数値を数えることができる．

計数入力	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Q_D 出力	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Q_C 出力	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
Q_B 出力	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
Q_A 出力	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

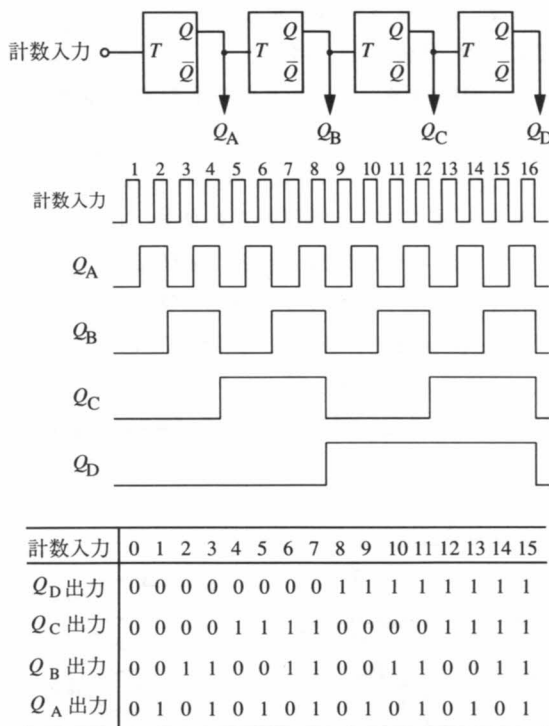



図 2-18　非同期式　4 ビット 16 進カウンタとそのタイミングチャート
1 からパルスのカウントを始めて 16 個のパルスを数えると
また 0 に戻る．

（c）レジスタ（register）

演算装置において取り扱うワードやバイト単位のひとまとまりのデータを一時的に記憶し，演算したり，左右にビットシフト（bit shift：ビット単位の桁移動）するために使用するもので，置数器と呼ぶこともある．

レジスタは，たとえば 32 ビット CPU といえばレジスタのビット数が 32 ビットであることを意味するように，CPU の基本性能を定めるもので，その処理には最高の高速性が要求されている．

特にデータの演算結果を出し入れする特別なレジスタを**アキュムレータ**（accumulator：累算器）という．また制御装置にはメモリから読み込んだ命令を一時的に蓄える命令レジスタ（instruction register）がある．直列-並列変換器などに使われるシフトを目的としているものを**シフトレジスタ**（shift register）と呼んでいる．シフト演算では左へ n ビットシフトすると 2^n 倍になり，右へシフトすると $1/2^n$ になる．たとえば，2 は 4 ビットの 2 進数で 0010 であるが，これを 1 ビット左へシフトすると 0100 となり 4 になる．一方，1 bit 右へシフトすると 0001 となり 1 になる．

2-11　コンピュータを構成する基本素子と基本回路

現在のコンピュータを構成している最も重要な基本素子は，シリコン（Si，珪（けい）素）やガリウム砒素（GaAs）を材料にした**半導体**（semiconductor）素子である．半導体はシリコンなどの単結晶に結晶構造の異なる微量の不純物を加えたもので，負電荷の自由電子が電流を運ぶ **n 型半導体**と正電荷の正孔（ホール）が電流を運ぶ **p 型半導体**がある．

（1）IC（Integrated Circuit：集積回路），LSI（Large Scale Integration：大規模集積回路），VLSI（Very LSI：超大規模集積回路）

シリコンウェハ（wafer）上に酸化，エッチング，蒸着，拡散，イオン注入などの技術を用いて半導体回路を形成したもので，今日のコンピュータを構成している最も重要な基本素子といえる．現在のパソコン用の CPU は，数百万個のトランジスタを数 cm 四方の大きさに集積した超大規模集積回路である．IC は，コンピュータの高速化・高機能化・超小型化・高信頼性・低価格化に大きく貢献している．

トランジスタには，高速で比較的大きな負荷電流に耐えられるが消費電力の大きな**バイポーラ**（bipolar transistor）**型**と，雑音に強く消費電力が小さな**電界効果型**（Field Effect Transistor, FET）がある．

FET を用いた LSI は，コンピュータの素子としてはもっぱら MOS（Metal Oxide Semiconductor：金属－酸化物－半導体）型が用いられる．MOS には n 型半導体基板上に形成した p チャネル MOS と p 型半導体基板上に形成した n チャネル MOS がある．なお両タイプの MOS を同一基板上に形成したものは

CMOS（Complementary MOS：相補型 MOS）と呼ばれている．CMOS は定常状態では電流はほとんど流れず，きわめて消費電力の少ない回路が構成でき集積度を上げることができるため，携帯型の情報機器には必須の素子となっている．

（2）FET（Field Effect Transistor：電界効果型トランジスタ）

電圧によって制御するため，ゲート電流が流れず発熱を押さえることが可能で，大量のトランジスタを集積する IC に適している（図 2-19）．

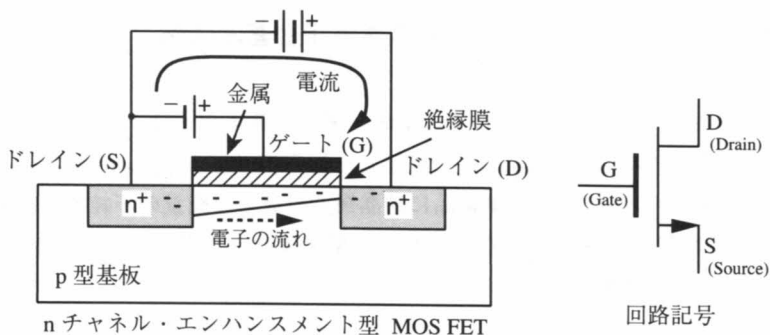



図 2-19　MOS-FETの構造と FET の回路記号

（3）バイポーラ・トランジスタ（bipolar transistor）

電流制御型の代表的なトランジスタで，p 型半導体と n 型半導体を組み合せて npn または pnp 構造にした 2 種類の型がある（図 2-20）．

（4）ディジタルコンピュータの素子に要求される三つの機能

（a）ディジタル化機能

信号が離散的な状態（レベル）を安定にもち，かつその状態間を高速に遷移（スイッチング）できること．コンピュータ内部では，電圧の高低（H，L）という二つの離散的状態を 2 進数の 1，0 に対応させてディジタル化を実現している．たとえば，トランジスタは本来アナログ素子であるが，コンピュータではスイッチング特性の優れたトランジスタを遮断と飽和の 2 領域に遷移させることにより，H と L の 2 種類の電圧レベルに制限して使っている（図 2-21）．

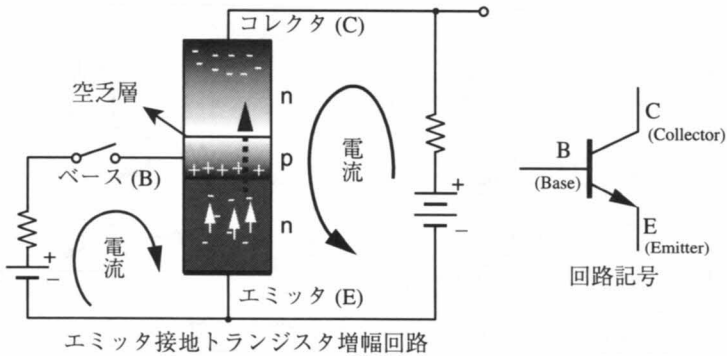



図 2-20 バイポーラトランジスタ(npn 型) を用いた増幅回路とトランジスタの回路記号

ベース電圧	L	H
トランジスタ	OFF	ON
コレクタ電圧	H	L
正　論　理	1 (True)	0 (False)
負　論　理	0 (False)	1 (True)

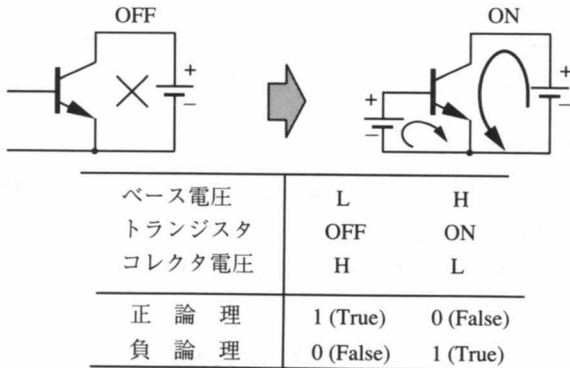



図 2-21 トランジスタの ON/OFF と電圧の高低 (H/L) および 2 値論理
エミッタ接地トランジスタ増幅回路は NOT 回路となっている.

(b) 増幅機能

算術演算・論理演算の遂行とデータの送受には多数の素子の組合せが必要で, 信号の H, L の離散的状態を素子間で確実に識別・伝達していくためには信号が増幅できなければならない. またコンピュータを用いて外部機器を制御するような場合には, 小さな電流で大きな電流を制御できる増幅機能を必要とする. ダイオードはディジタル化機能はもっているが, 増幅機能はもっていない. これに対してトランジスタはディジタル化機能と増幅機能を併せもった素子である.

(c) 記憶機能

1) 書き込み:外部信号により, 可能な H, L の離散的状態のどれか一つ

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

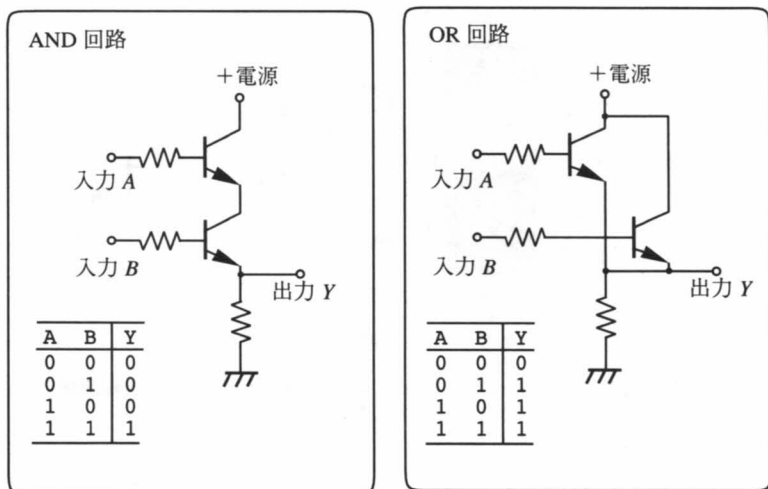



図 2-22 トランジスタによる論理回路： AND 回路と OR 回路

に高速に遷移できる．

2）記憶の保持：外部から変更しようとしない限り，所定の離散的な状態の一つをいつまでも安定に維持できる．

3）読み出し：現在の状態を速やかに知ることができる．

たとえば，フリップフロップは，トランジスタのディジタル化機能と増幅機能を利用して正帰還作用により記憶機能を実現している．

以上の三つの機能を備えた素子があれば，その素子の組合せで，原理的にはディジタルコンピュータを作ることができるが，実際にコンピュータの素子として採用する場合には，素子の

1） 高速性

2） 安定性

3） 集積性（超小型化，大容量化）

4） 信頼性

5） 低価格

という条件を満足する必要がある．特に高速性が重要である．機械式の計算機械が歴史的な遺物となったのは，これらの条件を考えると，機械的な素子が電子的な素子にとうていかなわないからである．電子的な素子でも 1950 年

代の後半に日本で開発されたコンピュータでは，パラメトロンという磁性素子が採用されたこともあったが，トランジスタの高速性などの優れた特性の前に敗れ去った．現在のシリコンウェハ上にトランジスタを集積した超 LSI 素子も素子開発競争の一つの通過点にすぎない．

2-12　CPU（中央処理装置）とは

CPU は，文字どおりコンピュータによる処理の中核を担い，そのコンピュータの基本性能を決定づけるもので，演算・制御が主な機能である．CPU の機能を少数のチップ上あるいは1チップに集積したLSI を MPU（Micro Processing Unit）あるいはマイクロプロセッサ（microprocessor）という．そこで CPU と MPU を区別しないで用いることもある．最近では通常の CPU とは別に，数値計算を高速に行う数値演算プロセッサや，画像処理専用のプロセッサを組み込んでいる MPU もある．CPU の選択ではレジスタとバスのビット数やクロック周波数に注意する．CPU のビット数には 4，8，16，32，64 とあるが，数値が大きいほど高速で演算能力が高い．

（1）CPU の基本動作（図 2-23）

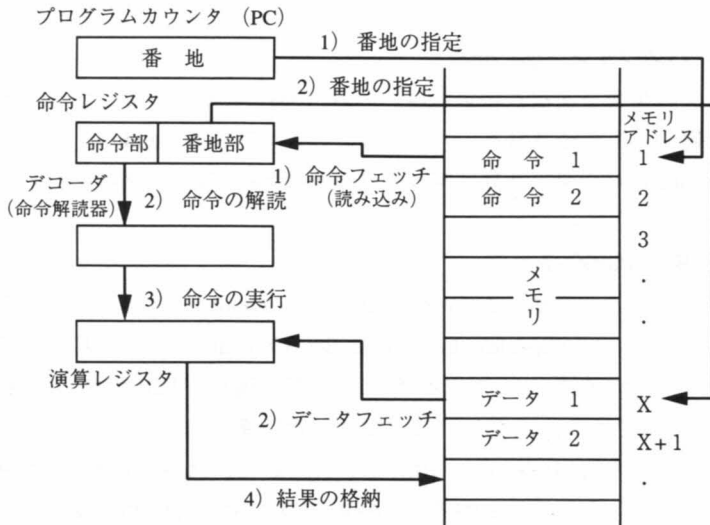



図 2-23　CPU の基本動作

1）　プログラムカウンタ（PC）が指し示す**アドレス**（address：番地）に入っているメモリの内容（命令）を命令レジスタに一時的に蓄え，**デコーダ**（命令解読器）に読み込む（プリフェッチ：prefetch）.

2）　命令を解読（デコード：decode）し，命令によっては番地を指定して，メモリから，あるいは他のレジスタなどからデータを演算レジスタへ**ロード**（load）する.

3）　演算回路，アキュムレータ，演算レジスタなどを使って命令を**実行**（execute）する.

4）　実行結果をメモリあるいはレジスタに格納（writeback）する.

1）～4）を繰り返す．このとき，PC の内容は通常，次に実行する命令を指し示すように増加する．次の命令がジャンプ命令やサブルーチンコール命令などのときは，ジャンプ先のアドレスが設定される.

（2）クロック（clock）

コンピュータは，規則正しい方形波信号であるクロックパルスに同期して動作する．同一の CPU であればクロック周波数が高いシステムの方が処理速度が速い．たとえば，100 MHz のクロック周波数であれば，基本的な命令は 10^{-8} [s] の整数倍で動作する.

（3）バスライン（bus line）

アドレスやデータなどの信号は，**バス**（bus）と呼ばれるひとまとまりの信号線を経由して転送される．バスには，アドレスバス（address bus），データバス（data bus），コントロールバス（control bus）などがある.

（4）RISC/CISC チップ

RISC（リスク：Reduced Instruction Set Computer）チップとは，これまでの CISC（シスク：Complex Instruction Set Computer）チップにおいて使用頻度の低い命令を削除し，回路を簡素化して高速化と低消費電力化を図った MPU のことである．ただし，最近では両者の違いは小さくなってきている．SPARC（Sun 社），PowerPC（IBM 社，Apple 社，Motorola 社），PentiumPro（Intel 社），R シリーズ（MIPS 社），Alpha（DEC 社），HP-PA（HP 社）など新しく開発されている MPU はこの方式が採用されている.

（5）DMA（ディーエムエー：Direct Memory Access）

メモリ内のデータを別の場所に移す（転送）には，プログラムによって1番地ずつ行う必要があり，大量のデータの場合，処理時間がかかる．このため転送開始番地，転送先番地，転送量などの必要な情報を与え，ハード的に高速転送が行えるようにしたのがDMAと呼ばれる機能である．これによりCPUは転送中に別の処理をすることができる．

（6）割り込み（interruption）

割り込みとは，外部から非同期的な割り込み要求があると，それまで処理していたプログラムを一時中断し，あらかじめ設定されたプログラム（割り込み処理プログラム）を実行する機能である．たとえば，キーボードからの入力は割り込み処理によって認識されている．割り込み処理が終われば中断していた処理を再開する．このために処理を中断する際，その時点で使用していたレジスタやプログラムカウンタの内容などの処理の再開に必要な情報を，**スタック**（stack）と呼ぶ後入れ先出し（LIFO：Last-In First-Out）形式のメモリ領域に一時的にメモ（退避）しておき，処理の再開に備える．

割り込み要求には外部からハード的に行う場合と，プログラムでソフト的に行う場合がある．また，割り込み処理中に他の割り込み要求があった場合は，あらかじめ設定された優先度（priority）の高低によって順次処理される．

DMAや割り込みは，CPUの高速性を生かして，コンピュータ資源を効率的に使用する技術である．

2-13　メモリ（memory）とは

コンピュータの記憶方式は，人間の脳のアナログ的記憶とは全く異なり，ディジタル的記憶である．すなわち，コンピュータでは

1）情報は0と1の2進数で記憶するので，記憶は精密で正確である．
ディジタルの記憶であるので，あいまいな記憶や記憶が薄れることはない．

2）情報は，メモリ（記憶装置）という画然とした固有の領域で記憶される．

3）メモリにはその全領域にアドレス（番地）を振って，通常はバイト単位で管理して，情報の書き込み，読み出しを行う．

4）連想的な記憶の書き込み，読み出しはできない．

5）記憶の書き込み，読み出しは人間が命令して行わなければならない．必要な情報は保存を決して忘れないこと．

6）記憶媒体が壊れて読み出し，書き込みができないことが起きる．

7）記憶のコピーが簡単に行える．

8）大容量の記憶の消去が，きわめて容易に行える．

という特徴がある．

これに対して，脳の記憶では人間は情報の書き込みや読み出し，記憶場所などのメモリ管理を意識的にすることはない．また，脳ではコンピュータのようなメモリの番地付けは行っておらず，連想記憶が用いられていると考えられている．このようにコンピュータと脳では記憶方式が全く異なるので，コンピュータを用いた情報処理ではメモリに関する人間の不慣れに起因するトラブルやエラーがしばしば起きる．プログラミングでの困難の一つは，このコンピュータ独特の記憶方式に起因している．

メモリには，電源を切ったときに内容が消える揮発性メモリ（VM：Volatile Memory），電源を切っても内容が保持される不揮発性メモリ（NVM：Non Volatile Memory）がある．メモリはアクセス（access：書き込み，読み出し）速度，容量，価格などの記憶素子の特性に応じて，また主記憶（メインメモリ），補助（外部）記憶などの用途に応じて使い分けられる．ソフトウェアの巨大化に伴い，大容量で高速，安価な記憶媒体の必要性がますます高まっており，激しい開発競争が続けられている．メモリの選択では主記憶では高速性を，補助記憶では不揮発性や大容量を優先させる．

（1）読み書きの方式による分類

（a）RWM（Read Write Memory）

読み書きのできるメモリで IC メモリ，ハードディスク，フロッピーディスク，磁気テープなどがある．

（b）ROM（ロム：Read Only Memory）

読み出し専用メモリで ROM-IC，CD-ROM などがある．

書き込みは製造工場で行うほか，コンピュータに書き込み器を接続して任意の情報を書き込むこともできる．コンピュータの電源を切っても記憶内容

は消えない．

（2）アクセス方式による分類

（a）RAM（ラム：Random Access Memory）：高速，小容量

ランダム（随時）にアクセスできるメモリでICメモリなどがある．

注：ハードディスクはアクセス方式からはRAMの部類に入るが，通常RAMといえばICメモリで構成されたメインメモリを指す．

（b）SAM（Sequential Access Memory）：中低速，大容量

テープなどのように，読み書きする位置まで順次読み飛ばしてアクセスする必要のあるメモリである．アクセス速度が遅いため，おもに巨大容量の補助記憶として使われている．代表的なものに磁気テープ装置（MT：Magnetic Tape，DCT：Data Cartridge Tape，DAT：Digital Audio Tape など）がある．

（3）記憶保持方式による RAM の分類

（a）SRAM（エスラム：Static RAM）：超高速，小容量

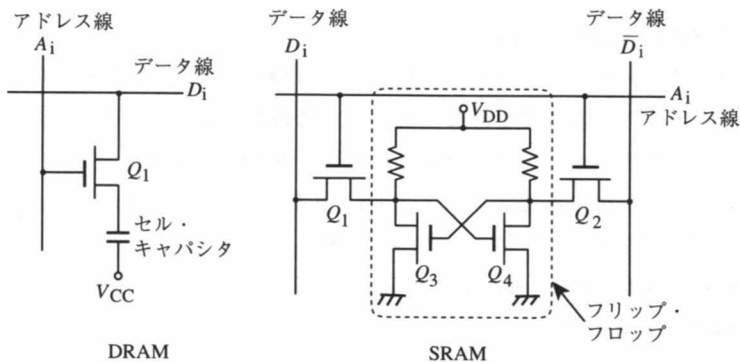
頻繁にアクセスする情報を一時的に蓄えておくためのキャッシュメモリ（cache memory）として使われるICメモリである．キャッシュメモリはCPUとメモリの動作速度の差を補い，演算の高速化を計る目的で使用される．

アドレス線：アドレスの指定に用いる
データ線：データの読み書きに用いる

図 2-24 DRAM と SRAM の回路構成

（b）DRAM（ディーラム：Dynamic RAM）：高速，高密度

主にメインメモリとして使われる，記憶保持動作（リフレッシュ信号）が必要なICメモリである．

SRAMは，フリップフロップの反転動作を利用し，片方のトランジスタの電圧の高低を1, 0に対応づけ，1ビットを記憶させるが，DRAMはコンデンサ（セル・キャパシタ）の充放電を利用し，電荷の有無を1，0に対応させる．DRAMの方が構成する素子の数が少ないため回路構成が簡単で，高密度化すなわち大容量化が可能であるが，コンデンサの自然放電を防ぐために再書き込み（リフレッシュ）を行う必要がある（図2-24）．

2-14　ディスク（disk）とは

ディスクとは，円盤状のメディア（media：記憶媒体）の表面に，情報を書き込んだり，読み出したりするもので，補助記憶装置として現在のコンピュータシステムには欠かすことのできないものである．磁性体を円盤に塗布し，磁気ヘッドで読み書きする**磁気ディスク**と，特殊なディスクを用い，レーザー光を利用して読み書きする**光ディスク**がある．

（1）FDD（Flexible Disk Drive）

フロッピーディスク（floppy disk）とも呼ばれ，小容量でアクセス速度も遅いが，メディアが安価で手軽なため，主に情報交換用として使用されている．ディスクの大きさが3.5インチのものが多く使われており，容量は1枚720 KBの2DD（両面倍密度）タイプと1.4 MBまたは1.2 MBの2 HD（両面高密度）タイプがある．特徴としては低速，小容量，安価，リムーバブル（removable：取り外し可能）などがあげられる．なお，最近3.5インチで大容量のFDDの開発が進んでいる．

（2）HDD（Hard Disk Drive：ハードディスク装置）

固定ディスクとも呼ばれ，補助記憶装置として現在もっとも広く使用されている．高速，大容量のため，コンピュータシステムの起動，運用にかかわるあらゆるソフトウェアを記憶させるために使われている．一部にリムーバ

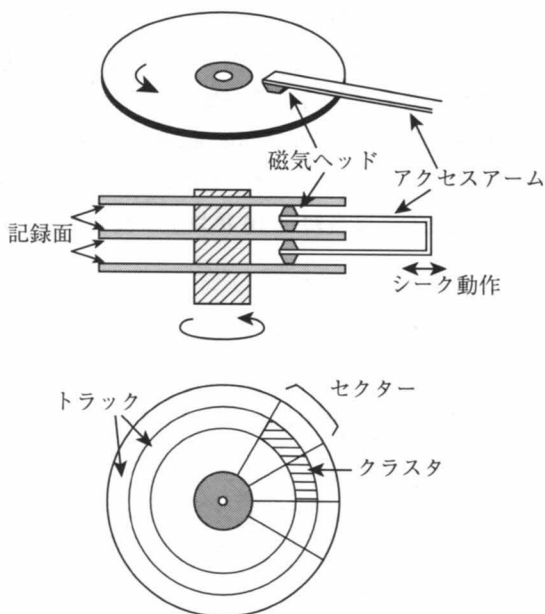



図 2-25　磁気ディスク装置と磁気ディスクの構造

ブルなタイプもある．容量は 1 台で数 100 MB～数 GB までで，高速，大容量である．

（3）MO（エムオー：Magneto Optical disk）

光磁気ディスクとも呼ばれ，主に HDD のバックアップ（代替コピー）用として使用されている．加熱することにより磁化が可能になる特殊な合金を塗布したディスクを用い，所定の点をレーザー光線で加熱し，磁界をかけて書き込みを行う．このため書き込みは読み出しより時間がかかる．メディアは 3.5 インチや 5.25 インチで，記憶容量も 128 MB，230 MB，640 MB，1.2 GB など多様なため，互換性については注意が必要である．特徴は中速，大容量，リムーバブルなことである．

（4）CD-ROM（シーディーロム：Compact Disk-Read Only Memory）

音楽用として広く使われている 5.25 インチの CD を転用した読み出し専用のディスクである．携帯性に優れ，容量は 1 枚で約 500～600 MB あり，大容

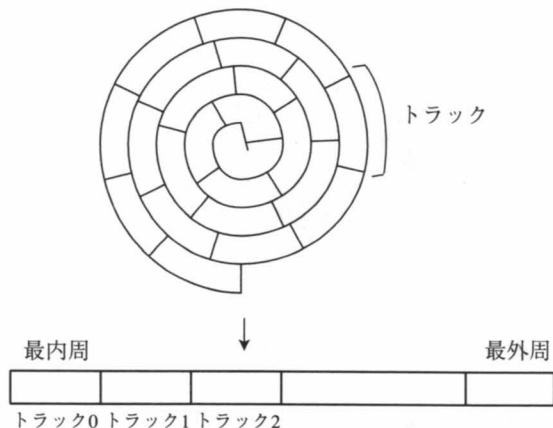
量のソフトウェアの配布用に用いられている．また，文章，音声，静止画，動画などを組み合せたマルチメディア情報の百科事典，学習教材，ゲームなどの記憶媒体として使用されている．この他にユーザーレベルで1回のみ書き込みが可能な **CD-R**（Compact Disk Recordable）もある．特徴は中速，大容量，リムーバブルなことである．なお，CD-ROMドライブは読み出し速度が遅いといわれたが，最近では当初の10倍以上に改善され，高速化が進んでいる．

CD-ROMは，FDやHDのように同心円状ではなく，渦巻き状に情報を記録する．総延長は12cm盤で約5.3kmになる．

図 2-26　CD-ROMの記録様式

（5）その他の光ディスク

（a）MD（エムディー：Mini Disk）

2.5インチサイズで約140 MBの読み書きのできるディスクで携帯用に適する．CDと同じく音楽用のドライブとメディアを利用するため安価である．

（b）DVD（Digital Video Disk）

5インチ（120 mm）サイズで数GB〜十数GBという大容量が特徴で，次世代の映像，音楽用メディアとして今後普及が強く期待されているディスクである．

ディスクに関しては，他にも媒体，容量，アクセス速度に関して種々のも

のが実用化し始めている．どれが市場を制するかは予測しにくいので，新しい大容量記憶媒体を選ぶときには互換性を考慮して慎重に選んだ方がよいであろう．

（6）ディスクのイニシャライズ（initialize），**フォーマット**（format）

ディスクでは，セクター（sector）と呼ぶ領域単位で情報を読み書きする．このために，まずディスクの表面を検査し，表面に欠陥があればその部分を避けて，セクター領域とそのアドレス情報を書き込む．これによってどのファイルはどのクラスタに記録されているか，そのクラスタは何番目のトラックの何番目のセクターに対応しているのかといった情報を記録・管理でき，ディスクにファイル形式の情報を読み書きする準備ができる．これが**イニシャライズ（初期化）**あるいは**フォーマット**と呼ばれる作業で，FD，HD，MO などのメディアを最初に使う場合にあらかじめ必要な作業である．

パソコン用の FD の場合，Windows マシンと Macintosh では互換性がなく，また Windows マシンでも NEC PC98 用は 1 セクターが 1024 Byte であるが，DOS/V 機の場合は 512 Byte となっており，互換性がないので注意が必要である．

2-15　入力装置（input device）とは

入力装置は，コンピュータにさまざまな情報を入力したり，命令を与えたりするために必要な装置で，次のようなものがある．

（1）キーボード（keyboard）

キーの数から 101 タイプ，106 タイプ，109 タイプなどがある．アルファベット，数字の配列は共通であるが，（，）や＋，－などの記号と，esc，control，tab などの特殊なキーの配列はキーボードによって異なるので注意が必要である．

ASCII タイプ：日本語の入力はアルファベットキーを用いてローマ字入力で行う．101タイプ

JIS タイプ：ローマ字入力のほか，かなモードによって各キーをかなに対応させ日本語入力することができる．106タイプ

親指シフトキーボードタイプ：日本語入力を高速に行うために開発された，親指と他の指を同時に組合せてかな入力する特殊なキーボードである．

キーボードはマウスと並んで最も基本的な入力装置であるから，コンピュータに慣れる近道は，キーボードの操作法をマスターすることである．キー入力は，早い段階でキーボードを見ないで両手でキーを打てるタッチタイピングを習得することが望ましい．キーの入力は，ローマ字入力とカナ入力の二つの方式があるが，日本語だけでなく英語の文字入力の必要性を考えるとローマ字入力の採用を強く勧める．

（2）ポインティングデバイス（pointing device）

画面上の所定の位置を指し示すための矢印や垂直バーなどの**カーソル**（cursor）を移動・制御するための装置であり，次に示すような種類がある．

（a）マウス（mouse）

ボールを卓上面に滑らせて相対的な位置の検出に用い，ボタンスイッチと組み合せて使う最も基本的なポインティングデバイスである．縞模様が印刷された特殊なマウスパッドに光を反射させて位置を検出する光学タイプのマウスもある．ボタンスイッチは1個（Macintosh 用），2個（通常の Windows パソコン用），3個（WS 用）とあり，機種・OS にあわせて使用する．

（b）トラックボール（track ball）

マウスを裏返しにしたような装置で，ボールを指で直接回転させて位置を指示する．マウスのように平面上を滑らせる必要がないため，場所をとらず携帯用に用いられることが多い．

（c）トラックパッド（track pad）

感圧方式あるいは静電容量方式によって，パッド上を指で直接なでることにより位置を指示する．マウスやトラックボールのように可動部分がなくコンパクトにできるため，携帯用に適する．

（d）タブレット（tablet）/ディジタイザ（digitizer）

トラックパッドを大きくしたような構造のもので，電磁誘導方式，静電結合方式と感圧方式などがある．小型のものは手帳サイズや A4 判から，大型のものは A0 判位まであり，電子手帳型のコンピュータや CAD，CG 用のポインティングデバイスに使用される．

（e）タッチパネル（touch panel）

透明なパネルをディスプレイ画面の表面に設置し，直接指で指示できるようにしたものである．

（3）スキャナー（scanner）

原稿に光を当て，その反射をレンズを介して CCD（Charge Coupled Device：電荷結合素子）に集め，画像をディジタル化し取り込む装置である．ソフトと組み合せて文字を認識する OCR（Optical Character Reader：光学式文字読み取り装置）として利用すれば，印刷された文書を大量に高速にコンピュータに取り込むことができる．

1）フラットベッド型：最も標準的な設置型のタイプで，複写機のように原稿台に原稿を置いてスキャンする．高精度なスキャンができる．

2）ハンドスキャン型：片手で持てるくらいのコンパクトなタイプで，原稿の上を手動で滑らしスキャンする．読み取り精度はやや低い．

3）シートフィード型：ファックスの読み取り装置のように原稿を移動させてスキャンするタイプである．比較的コンパクトであるが，書籍などのスキャンはできない．

（4）ディジタルカメラ，ビデオカメラ

フィルムの代わりに CCD を使って撮影し画像をディジタル化し，ディスクやカード型メモリに書き込み，コンピュータに画像データを読み込ませて表示・修正・出力できるようにしたカメラである．普及型のディジタルカメラの画像品質はフィルムを使うカメラよりも劣るが，ディジタル情報であるので，自由に加工，編集，保存ができる利点がある．

2-16 出力装置（output device）とは

出力装置は，コンピュータからさまざまな情報を出力したり，外部に働きかけるために必要な装置で，次のようなものがある．

（1）ディスプレイ（display）

デスクトップ（卓上型）コンピュータの場合はブラウン管ディスプレイが，

携帯型コンピュータの場合は液晶ディスプレイが広く使われている．今後は液晶ディスプレイ，プラズマディスプレイともに大型化，カラー化，低価格化が進み，卓上・携帯を問わず普及するものとみられる．

（a）CRT（Cathode Ray Tube）**ディスプレイ**

ブラウン管を使った，もっとも標準的な出力装置で，カラーディスプレイの場合，シャドウマスクタイプとより画面の明るいアパーチャグリルタイプの2種類がある．17インチ以上の高解像度のディスプレイを選ぶとよい．

（b）液晶ディスプレイ（LCD：Liquid Crystal Display）

通電することにより透明になる性質をもった液晶を利用したもので，表示速度が速く画質の良いTFT（Thin Film Transistor）型と表示速度はやや遅いが安価なSTN（Super Twisted Nematic）型がある．薄型，低消費電力のため携帯用に適しているが，液晶自身は発光しないため通常背面を照らすバックライトが必要で，カラー表示のできるタイプはやや高価である．

（c）プラズマディスプレイ（PDP：Plasma Display Panel）

プラズマ放電（気体の放電に伴う発光現象）を利用しているため，薄型，低消費電力で，バックライトが不要のディスプレイである．

（2）プリンタ（printer）

いろいろな種類の印刷の方式があるが，いずれの方式も高印字品質化が進み，文字のみならず図形なども印刷できる．ドットインパクト方式を除き優劣がつけがたいが，インクジェット方式と熱転写方式はカラー化が容易で比較的低価格であり，レーザービーム方式は高速で特に紙質を選ばない．

（a）レーザービーム方式（図2-27）

感光ドラム上をレーザービームで帯電・除電し，ドラム上にトナーを付着させ，紙に転写する方式．レーザービームの代わりにLED（発光ダイオード）を使ったものもある．高印字品質で印字速度も速い．

（b）インクジェット方式

インクを細いノズルから噴射して印字する．インクの噴射は，急速にインクを加熱し沸騰を利用するものと振動子によるものとがある．高印字品質で，カラー印刷が可能であり，低価格であるため，特に家庭用として広く普及している．この方式は，図面出力用のプロッタとしても用いられている．

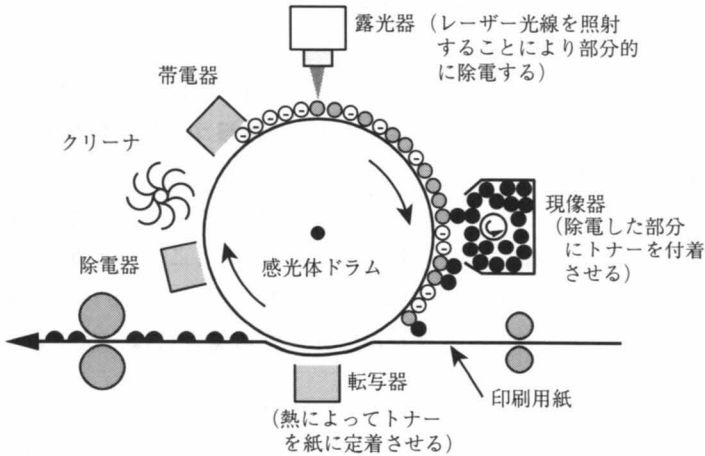



図 2-27　レーザープリンタの構造

（c）熱転写方式

熱ヘッドにより熱転写フィルム上のインクを紙に転写する方式で，熱溶融型と昇華型の2種類がある．カラー印刷が可能だが印字速度は一般に遅い．

（d）ドットインパクト方式

インクリボンをハンマーでたたいて紙にインクを付着させるタイプのため，印字音が大きく，印字品質はそれほどよくないが，カーボン複写紙によるコピーが可能で伝票の出力などで利用されている．

2-17　その他の周辺装置

入出力を兼ねる装置に，通信で使用するモデムがある．

モデム（MODEM：MOdulator DEModulator）

電話回線を用いてコンピュータ同士で通信するために，送信時にディジタル信号をアナログ信号に変調し，受信時にアナログ信号をディジタル信号に復調する装置である．

最近は通常のディジタル情報だけでなく，FAX の送受信もできる FAX モデムが普通であり，56000 bps（ビット/秒）以上で通信ができる高速化がすすんでいる．

2-18　インターフェース（interface）とは

インターフェースは，コンピュータと周辺装置との間にあって情報を交換・転送する際の信号レベル（電圧レベルなど）や情報コードの変換などを行う規格や技術のことである．

インターフェースにおいては，ディジタル信号のシリアル（serial：直列）転送とパラレル（parallel：並列）転送を区別しておくことが大切である．たとえば，文字「x」の ASCII コードは，58（16），すなわち，01011000（2）である．これをシリアルとパラレルで転送する場合には，次のようになる（図 2-28）．

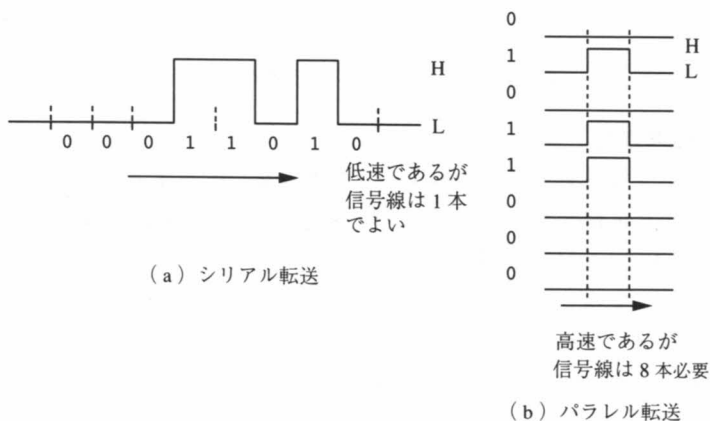



図 2-28　ディジタル信号のシリアル転送とパラレル転送

（1）シリアル・インターフェース（serial interface）

（a）RS-232-C（EIA-232-D）

主に通信機器（モデムなど）との接続に用いられる規格で不平衡型通信線を用いる．転送速度は，中・低速（数十 Kbps）で，ケーブル長は最大 15 m までである．

（b）RS-422

平衡型通信線を用いる規格 RS-232-C に比べて高速（10 Mbpsまで）で，規格上はケーブル長は数 kmまで可能である．

（2）セントロニクス・インターフェース（Centronics interface）

セントロニクス社のプリンタ用に開発された並列（parallel）データ転送インターフェースで，プリンタ用のインターフェースの事実上の標準になっている．高速ではあるが，ケーブル長は数mまでである．

（3）SCSI（スカジ：Small Computer System Interface）インターフェース

HDDやCD-ROM他の周辺機器とのインターフェースに用いる．最大7台（ID No. 0～6）までの機器をデイジーチェイン方式（daisy chain：いもづる式）で接続する．高速であるが，ケーブル長は数mまでである．現在，SCSIには次のような3種類の規格があるが，周辺装置の高速化にともなってSCSI自身の高速化も進んでいる．より高速な転送を行う場合には，接続する周辺機器側とSCSI側の規格を揃えなければならないからである．

（a）SCSI-1

Narrow（8 bit バス用）：転送速度は5 MByte/sでこれまでの標準的な規格である．

（b）SCSI-2

Fast（8 bit バス用）：転送速度10 MByte/s

Wide（16 bit バス用）：転送速度20 MByte/s

これからの標準的な規格である．

（c）SCSI-3

Fast-20 Narrow（8 bit バス用）：転送速度20 MByte/s

Fast-20 Wide（16 bit バス用）：転送速度40 MByte/s（Ultra SCSI-3とも呼ぶ）

この他に光ファイバーの利用を考慮した，より高速なシリアルSCSI-3（最大100 MByte/s）も開発されている．

（4）IDE（Intelligent Drive Electronics）インターフェース

HDDとの専用インターフェースでコンピュータのバスと直結しているため比較的高速（3 MByte/s）である．ただし，接続は2台までである．その他IDEには制約があるが，新しい **E-IDE**（Enhanced-IDE）（13 MByte/s）では改良されており，4台まで接続できるほか，比較的安価なATAPI（AT Attachment Packet Interface）対応のCD-ROM装置なども接続できる．SCSIのように多くの外部機器との接続には適さない．

（5）IEEE-488（GP-IB：General Purpose Interface Bus）インターフェース

ディジタルマルチメータやオシロスコープなど，主に計測機器とのインターフェースに用いる．中速（1 Mbyte/sまで）だが，最大15台までの機器をデイジーチェイン方式で接続し，機器の機能の設定，切り替えができるほか，測定データの取込みなどにも利用できる．

（6）ネットワーク用インターフェース

イーサネットインターフェース（Ethernet interface）はコンピュータをイーサネット規格で構築されたネットワークに接続するためのインターフェースで，これからのコンピュータには不可欠のものである（第4章4-2参照）．

（7）MIDI（ミディ：Musical Instruments Digital Interface）インターフェース

MIDIは，コンピュータによって楽器（主に鍵盤楽器）や音源装置（シンセサイザやシーケンサ）を制御する情報をディジタルで転送するためのハードおよびソフトの国際規格である．これによって，コンピュータとMIDIを備えた機器との間で音の高さや音量などの情報をディジタル信号でやりとりし，作曲・演奏・記憶ができる．

（8）PCカードインターフェース

日本電子工業振興協会（JEIDA）と米国のPCMCIA（Personal Computer Memory Card International Association）が制定した，主に携帯型のコンピュータでメモリやモデムなどを増設するためのクレジットカードサイズのインターフェースである．ディジタルカメラにおいて画像を記憶させるためのフィルムの代わりとなるフラッシュメモリ（書き換え可能なROM）などにも利用されている．

以上の各インターフェースは，シリアル/パラレル・インターフェース，IDEインターフェースなどのように，標準でコンピュータに装備されているものと，必要に応じてオプションとして追加するものとに分けられる．ネットワーク時代を迎え，ネットワーク用のインターフェースを標準で内蔵するパソコンが増えている．

以上の入出力装置，AD/DA 変換器，入出力インターフェースとコンピュータ本体との関係を図で表すと，図 2-29 のようになる．

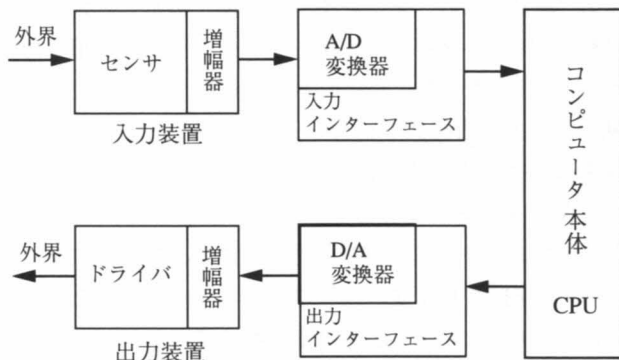



図 2-29　入出力機器とコンピュータ

1）外界のデータは，最初に入力装置のセンサ（検出器）で検出されなければならない．たとえば，キーボードでは鍵盤への触圧が検出されてはじめて文字入力となる．また音声入力ではマイクロフォンがセンサである．

2）入力されたアナログデータは A/D 変換器によりディジタルデータに変換されてコンピュータ本体に取り込まれ処理される．

3）処理結果はディジタルであるので，最後に D/A 変換器によりアナログデータに変換して，出力装置のドライバ（駆動装置）を駆動して外界に働きかけなければならない．たとえば，電子銃を駆動して CRT ディスプレイに文字を表示したり，音声出力であればスピーカを駆動する．

4）入出力装置の使いやすさは，センサやドライバがどれだけ人間の身体や感覚に適合して入出力をするかに強く依存する．

2-19　入出力装置とコンピュータの使いやすさ

周辺装置は，人間とコンピュータとの間のコミュニケーションを仲介する，コンピュータの使いやすさを左右する重要な入出力装置である．現在の周辺装置のほとんどにはマイクロプロセッサが組み込まれていて，CPU と分担して高速な処理を実現している．

現在のコンピュータは，入出力装置の進歩により，数値データばかりでなく，

文字，音声，静止画，動画データを高速に大量に処理することができるようになった．これらのマルチメディア（multimedia）情報がディジタルであるがゆえに再利用，加工，編集，改訂，検索が柔軟で容易であることから，コンピュータは単なる計算機械・データ解析機械からマルチメディアを用いた自己表現のためのシステムに進化した．ここでマルチメディア・システムとは，コンピュータを中枢機械として入出力装置を組合せ，通信装置と結合して，文章，音声，静止画，動画などの多種多様な（multi）形態のディジタル情報を統合的に扱えるようにした媒体（media）システムのことである．

さらに，さまざまな入出力装置が個人で容易に使えるようになったことにより，コンピュータに支援させて他の人とコミュニケーションをとることが手軽にできるようになった．たとえば，視覚障碍(がい)者は普通のワープロやエディターと音声出力装置と音声ソフトを組合せて漢字かなまじりの普通の文章を書いたり，CD-ROM の辞書を検索したり，スキャナーと OCR 読み取りソフトを用いて，普通の活字の本や書類を読むことも可能になっている

パソコンやマイクロコンピュータを組込んだ個人情報機器の普及により，障碍者ユーザーも健常者ユーザーとデータを共有したり，共同作業をすることが容易にできるようになったのである．このように現在のコンピュータは，人間の知的活動全般を支援する機械にとどまらず，障碍者を含めたすべての人間の可能性を拡げるための機械となっていることに注意してほしい．

演習問題 2

2-1　アナログ量とディジタル量の例をあげよ．また，アナログ量とディジタル量の違いを述べよ．

2-2　身の廻りで 2 進数の 1 ビットで表すことのできるものをあげよ．

2-3　コンピュータの内部では通常負の数を 2 の補数を用いて表す理由を述べよ．

2-4　ある CPU のアドレス（番地）バスの幅は 16 本である．このとき指定できる番地の総数を求めよ．

2-5　コンピュータ内部では 2 進数が使用されているはずなのに，16 進数表現が好んで用いられる理由は何か．

2-6　次の 10 進数を 8 ビット 2 進数に変換し，16 進数で表せ．ただし，負の数は 2 の補数で表現する．

1） 0	2） 1
3） −1	4） 10
5） −10	6） 127
7） −127	8） −128

2-7　次の 8 ビット 2 進数を 10 進数で表せ．ここで MSB は符号ビットである．負の数は，2 の補数を求め，それを 10 進数化する．さらにマイナスの符号を付ける．

1）00010101	2）01100110
3）01010011	4）01111111
5）11100110	6）10110110
7）11100110	8）10000000

2-8　コンピュータ内部での実数の表現は，数学でいう実数とは異なっている．どこがどのように異なっているか，またそのために数値計算ではどのような注意が必要か．

2-9　コンピュータでは本来アナログ素子であるトランジスタをディジタル素子として使っている．トランジスタはどのようにすればディジタル素子として使えるか．ディジタル素子として使うトランジスタに要求される特性は何か．

2-10　電卓用の LSI の開発がパソコンの MPU に発展していった過程を調べよ．

2-11　フリップフロップではなぜ記憶することができるか．次に，フリップフロップによる記憶の長所，短所をあげよ．

2-12　自分の使っているパソコンの CPU について次のことを調べよ．

1）ビット数，クロック周波数．

2）RISC か，CISC か．

3）どれだけの数のトランジスタが集積されているか．

2-13　コンピュータの内部で数値を扱うとき，何進法を用いれば素子数が最も少なくなるか．

ヒント：r 進法 n 桁の数値を表すための素子数を M とする．

$$N = r^n$$

$$M = r^n$$

の連立方程式において，N を一定にしたときに，M が最小となる r を求める．r は方程式を解くときには実数扱いとし，これに最も近い整数を選べばよい．

2-14 ディジタル式とアナログ式のデータの利用・管理・保存のメリット，デメリットは何か．ディジタルカメラの場合を例にあげ，フィルムを使うカメラと比べてどのような利点，欠点があるか具体的に述べよ．

2-15 ファイルを記憶する媒体にはハードディスク，CD-ROM，MO（光磁気ディスク），磁気テープなどがある．それらの記憶方法，アクセス方式/速度，単位記憶容量あたりの価格を調べ，それぞれの特徴と用途を述べよ．

2-16 百科事典を CD-ROM 化することによって得られる利点は何か，特に欠点はないか．

2-17 コンピュータの電源はいきなり断（off）しない方がよいといわれる．なぜか．

2-18 実験データをコンピュータに取り込むことによりどのような利点が得られるか．

第 3 章

ソフトウェアとは

本章は，コンピュータのソフトウェアやアルゴリズム，プログラミング，プログラミング言語について詳しく説明している．オペレーティングシステムの働き，プログラミングとはどういう特性をもったものかについてはぜひとも理解しておく必要がある．さらにソフトウェア文化についても注意してほしい．

3-1 ソフトウェアとは何だろうか

ソフトウェアはプログラムに関する事柄やコンピュータの利用技術一般に関することの総称である．ソフトウェアは人間の創りだした文化の一部であり，長く継承されていかねばならない特性をもっている．ソフトウェアには大別してシステムソフトとアプリケーションソフトがある．

（1）システムソフト

基本ソフトとも呼び，ハードウェアとユーザーの間に介在するソフトである（図 3-1）．OS（オーエス：Operating System）や周辺機器を制御するデバ

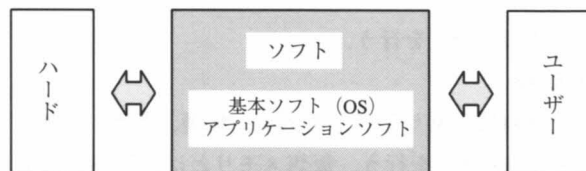



図 3-1 ソフトとハードとユーザーの関係

イスドライバなどがシステムソフトであり，コンピュータシステムを動かすために必須のソフトである．

パソコンの場合，電源を入れるとまずBIOS（バイオス：Basic Input/Output System）と呼ばれるパソコンの基本的な動作を行うソフトが起動する．これには，ディスプレイの表示，ディスクの入出力，シリアル/パラレルインターフェースの設定などの他，メモリやキーボードのテストなどを行うプログラムが含まれており，通常ROM-ICの形で内蔵されている．OSはBIOSに引き続いて起動される．

（2）アプリケーションソフト

ユーザーの使用する応用ソフトで，用途別にワープロ，表計算，データベース，通信用ソフト，ゲームソフトなどがある．

3-2 オペレーティングシステム（OS）とは何だろうか

OSなどのシステムソフトは，コンピュータ本体とその周辺装置およびアプリケーションソフトなどのコンピュータ資源（resources）を効率的に動作させ，システムの管理者やユーザーにとって，信頼できる，使いやすいコンピュータ環境を提供するためのソフトである．

（1）OSの管理機能

（a）プロセス管理

メモリにロードされ実行されるプログラムは，タスク（task）と呼ばれ，さらにプロセス（process）と呼ぶ，実行の最小単位に分解されて実行される．OSのプロセス管理では，これらタスクやプロセスの生成，スケジューリング，実行，プロセス間通信などを行う．

（b）メモリ管理

実行用のメモリ領域の割り付け，再配置，保護，共用，仮想メモリ（VM：Virtual Memory）制御などを行う．仮想メモリとは，外部記憶を主記憶のように見せかけることにより，実装されている主記憶容量以上のメモリを仮想的なメモリ空間としてプログラムが利用できるようにする技術である．これに

より，少ないメモリしか搭載していないマシンでも，実行速度を犠牲にして，複数のアプリケーションを同時に扱ったり，大量のデータを処理できるようになる.

（c）ファイル管理

プログラムやデータはファイルあるいはデータセットと呼ぶ形式で管理される.

（d）入出力管理

入出力装置の管理を行う.

（e）通信管理

通信制御，ネットワーク管理などである.

（f）運用管理

ユーザー登録，機密保護などである.

（g）プログラム管理

C，COBOL，Fortran などの言語処理プログラムなど.

システム管理者はこれらの OS の管理機能についてじゅうぶん理解しておく必要があるが，普通のユーザーは OS の管理機能の下でのコンピュータの使い方をまず覚えるようにすればよい.

（2）ユーザーと OS の管理機能

（a）ユーザー ID とパスワード

ネットワークに接続されたパソコンや WS，汎用機を使用する場合には，システム管理者に利用申請をして，ユーザー ID（ログイン名）をもらい，パスワードを設定してはじめてユーザーとなることができる．ユーザー ID とパスワードは各ユーザーが責任をもって管理しなければならない.

（b）ファイル

ファイルとは，ワープロの文書や表計算ソフトのワークシートなどのように，ある一定の規則により記録され，あるまとまりをもったデータの集合に名前（ファイル名）を付けてディスクなどの記憶媒体に保存したものである．アプリケーションソフトも一つのファイルを構成する．記録形式によって，文字データを記録したファイルをテキストファイル，テキストファイル以外の特に実行形式で記録したファイルをバイナリファイルと呼んでいる．OS,

アプリケーションソフトによって取り扱えるファイルの記録形式が決まっているので，ファイルの互換性に注意することが必要である．

書類のファイルと同様に，コンピュータのファイルでも関連するファイルはまとめて保管しておくと，仕事をする上で便利である．この格納場所を**フォルダ**（folder）あるいは**ディレクトリ**（directory）と呼んでいる．あるフォルダの中にさらにフォルダを作ることができ，ファイルを階層構造化して管理するのが普通である．なお，ファイルやフォルダはすべて**ドライブ**（drive）と呼ぶ物理的な記憶装置に保存される．ドライブにはハードディスク，フロッピーディスク，CD-ROM，MO ドライブなどがある．

ファイルはユーザーから見たときの操作対象の基本的な単位であるので，自分の使用するコンピュータのファイル管理に習熟することはきわめて大切である．ファイル管理ではユーザーは次の操作をマスターしておく必要がある．

- 記憶媒体の初期化（フォーマット）
- ファイル/フォルダの作成と保存
- ファイル/フォルダの削除
- ファイル/フォルダのコピー（複写）
- ファイル/フォルダの移動
- ファイル名/フォルダ名の変更
- ファイル/フォルダの検索
- ドライブの変更

（c）コマンド（command：命令）

ファイルの操作やプログラムの実行などの処理をコンピュータに指示するための文字列で，その実体は実行形式ファイルである．通常キーボードから入力する．コマンドは OS によって異なるので注意が必要である．命令を覚えるは面倒だが，慣れると効率的な処理ができる．

（d）カーネル（kernel）とシェル（shell）

カーネルはハードウェアと密着した OS の核の部分で，ユーザーは自ら特別な周辺機器を駆動するするとき以外は触れることはないだろう．シェルはカーネルの外側にある OS の殻であり，ユーザーから発せられたコマンドを解釈し実行するコマンドインタープリタである．シェルは OS とユーザーとのインターフェースの役割を担い，OS の使い勝手を決める重要なプログラムである．

（3）GUI（ジーユーアイ：Graphical User Interface）とは

GUIはマウスなどのポインティングデバイスで，ウィンドウ画面上のアイコン（icon）やボタン，プルダウンメニューなどを操作することにより，画面上の処理対象を直接視認しながらコンピュータに指示を与えることのできる利用環境のことである．GUI OSではアプリケーションソフトの基本操作が統一されているので初心者には使いやすく，全く新しい未経験のソフトでも推測しながら操作できる利点がある．これに対してGUI登場以前のUNIXやMS-DOSなどのOSでは，コンピュータに対する指示は，dir，copy，typeなどのように英文字列からなるコマンドを正確にキーボードから入力する必要があったので，初心者には大変扱いにくかった．GUIは大多数のユーザーに使いやすい操作環境を与えるが，慣れてくるとマウス操作が煩わしい，ソフトウェアが肥大化する，視覚障碍者には非常に使いづらいという短所もある．

（4）ジョブの処理形態

ジョブ（job）とは，もともと汎用機のOS用語であり，コンピュータで処理する一連の仕事の単位である．コンピュータ技術の進歩が多様で効率的なジョブの処理形態を生んだが，その背景には

1）コンピュータ資源をより有効に利用したい

2）人間とコンピュータが対話しながら仕事をしたい

3）コンピュータを介して人と人が協力して仕事をしたい

という考えがある．

（a）バッチ処理（batch processing）

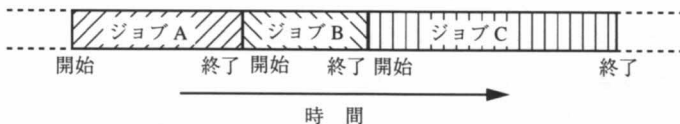
主に汎用機で使われているもので，処理したいプログラムやデータなどの指示と手順を記述したプロシージャをジョブとして投入することにより，OSがその手順にしたがって一括処理してゆく（図3-2）．

ジョブが到着した順に次々と切れ目なく実行する．後から到着したジョブは，通常は前のジョブが終了するまで待ちになる．

図3-2 ジョブのバッチ処理

(b) トランザクション処理 (transaction processing)

座席予約，バンキング（銀行における口座振込などの業務）などのように取引の発生とともにただちに行う必要のある処理である．

(c) タイムシェアリング処理

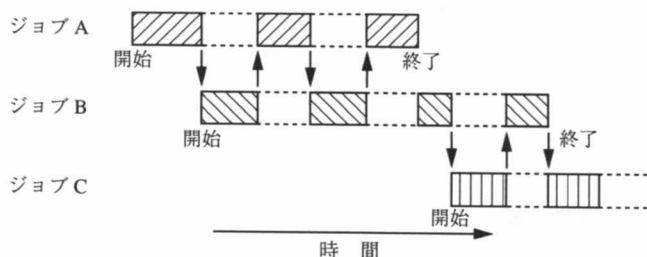
TSS (Time Sharing System：時分割システム) による処理はマルチユーザー/マルチタスクといわれ，多くのユーザーがコンピュータに接続された多数の端末を用いて対話形式で，CPU 時間を分割して使用する（図 3-3）．一人ひとりのユーザーから見れば，あたかもコンピュータを占有しているように見える．

各ジョブを決められたスケジュールにしたがって切り替え，短いCPU 時間（タイムスライス）を割り当てて実行する．実行中のジョブが入出力命令の実行などで CPU が待ち状態になると別のジョブを実行し，CPU の利用効率の向上をはかる．高速な CPU で初めて実用化できるようになった．

図 3-3 ジョブの TSS 処理

(d) リアルタイム処理 (real time processing：実時間処理)

工場のプロセス制御などのように実時間で対応する必要のある処理である．ただし，実時間処理専用の OS を用いなければならない．

(e) パソコンにおける処理

一人ひとりのユーザーがパソコンを単独で専有して行う処理で，家庭やオフィスでよく見かける処理形態である．ここで，パソコンをネットワークから切り離している状態をスタンドアローンと呼んでいる．

(f) 分散処理 (distributed processing)

コンピュータ同士を互いに接続してネットワークを構築し，ユーザーはそれらの多種類のコンピュータを分散利用して効率的に必要な処理をする．現在最も広く行われている処理形態である（第 4 章 4-1 参照）．

（5）OSの例

入門者用のOSとしては，パソコン用のWindows 95かWindows NT，あるいはMac OSが使いやすい．WS用のUNIXや汎用機用のOSは，パソコンOSと比べて初心者には操作性に難があり，中級者・上級者向けである．

（a）汎用機用OS

1964年にIBM System 360用に開発されたOS/360が原点になり，以後他社も含めて汎用機用OSはこれに準じた内容になっている．このことからこの種のOSで稼働する汎用コンピュータは，IBM互換機と呼ばれるようになった．

汎用機用のOSは，大規模な事務計算やデータベース，科学技術計算用に，最初から多人数による共同利用（マルチユーザー/マルチタスク）を前提に，いかに全コンピュータ資源を有効に使用するかという観点から設計されている．各種の管理機能が充実していて信頼性はきわめて高く，バッチ，トランザクション，TSS処理を用いた基幹業務に適する．汎用機OSは基本的に文字ベース方式のOSであり，個々のユーザーから見た使い勝手は全般的によくないし，システム管理者にとってもOSが大きくなりすぎてOSの全体像が捉えにくくなっている欠点がある．従来大学や企業などの計算機センターのメインフレームで用いられてきたが，ダウンサイジングの影響をもろに受け，ネットワークでの計算，データベースなどのサーバー機能を強化することが最も

【コンピュータサイエンスの頻出概念―効率（efficiency）および整合性と完備性（consistency and completeness）】

アーキテクチャ，OS，アルゴリズムなどのコンピュータ技術のあらゆる関心は，高効率化と両立させて，いかに信頼性の高いシステムを構築するかにある．高効率化はコンピュータ資源の有効利用に直結する．たとえば，TSS処理は高速なCPUを無駄に待たせることなく，CPUを時分割で効率的に使用してコンピュータ資源を有効に利用する技術である．また最近のMPUでは命令数を減らすことによりハードウェア設計の開発効率と演算の実行効率を高めることを図っている．ただし，高効率化を狙っても，システムとしての整合性と完備性を備えていないと信頼性の欠けたMPUになってしまう．1994年にIntel社のMPUのPentiumがごくまれに計算間違いすることがわかって大問題となった．

重要な課題となっている.

代表的なものにIBM社のMVS/XA，日立（HITAC）のVOS3，富士通（FACOM）OS IV/F4，日本電気（NEAC）のACOS-4/MVPなどがある．またミニコンピュータ用としてDEC社のVMSがある.

(b) WS用OS

UNIX（ユニックス）

AT & Tベル研究所のトンプソン（K.Thompson）とリッチー（D.M. Ritchie）が1969年にミニコンピュータ（DEC社PDP-11）用に開発したもので，当初から対話形式で複数のユーザーが利用でき（マルチユーザー），複数のプログラムを見かけ上同時に実行できる（マルチタスク），基本的に文字ベース方式のOSである．ベル研究所が低価格（大学・研究所関係は手数料のみ）でライセンス（license：使用権）を提供し，ソースコードを公開したことと，汎用機OSと比べて小さくかつ使いやすいものであったため，専門家に歓迎され，小型コンピュータ用として急速に普及した．現在では，WSのみならず，スーパーコンピュータ，汎用機からパソコンまですべての機種で使われている．特に，ネットワークで他のコンピュータに対して各種のサービスを提供するサーバー用として広く利用されている．また，リアルタイム処理用もあり，制御システムなどで採用されている.

注．ソースコードとは，後の節で説明するアセンブリ言語や高水準言語で記述されたプログラムのことである．一般にメーカーのOSではソースコードが公開されることはなく，機械語のバイナリコード（オブジェクトコード）で提供されるが，UNIXでは当初ソースコードが公開された．これによりOSの中身が解読でき，専門家は必要に応じてシステムを改変できること，学生教育用のOSの教材にもなることなどから，UNIXはコンピュータサイエンスの研究者・教育者には非常に魅力的なものであった．そのためUNIXは今でも専門家の間に根強い支持がある．この“情報公開”が，技術的にはUNIXのBSD（Berkeley Software Distribution）版を生み，仮想記憶やネットワーク技術の開発を促したこと，文化的にはフリーソフトの流通やインターネットのオープンな組織原理をもたらす一因となったことに注意してほしい.

(c) パソコン用OS

1）MS-DOS（エムエスドス．DOS/V）（16ビットMPU用）

Microsoft社が1981年Intel社のMPU（i8086）用として開発し，現在に至る

まで Intel 社の MPU（i80486～Pentium～PentiumPro）内蔵パソコン用として全世界的に普及している OS である．UNIX の仕様に似せた文字ベース方式の OS であるが，Windows OS の登場により世代交代の時期を迎えている．DOS/V（ドスブイ）とは，日本 IBM 社が 1990 年に，IBM PC で特別なハードウェアを用いずソフト的に日本語が扱えるように，英語版の PC DOS（MS-DOS の IBM PC 版）を改良し公開したものである．これにより日本では IBM PC とその互換機が急速に普及し，パソコン全体の低価格化が進行した．以後 IBM PC とその互換機は日本では DOS/V 機とも呼ばれている．シングルユーザー/シングルタスク用．

2）MacOS（漢字Talk）（32 ビット MPU 用）

Apple 社が自社のパソコン Macintosh 用に 1984 年に開発した OS である．MPU は Motorola 社の M68000 シリーズとIBM 社，Apple 社，Motorola 社共同開発の PowerPC シリーズに対応している．パソコン用として初めて GUI 環境を提供したもので，その操作性の良さは，以後 Windows 他の OS の開発目標となってきた．日本語版の OS である漢字 Talk は 1986 年に発表され，その後 Mac OS と改められて現在に至っている．シングルユーザー/シングルタスク用．

3）Windows 95（32 ビット MPU 用）

Microsoft 社が，Intel 社の 32 ビット MPU（i80386～i80486～Pentium）の機能を生かすために，1995 年に GUI 環境を提供する Windows を 改良して OS としたものである．主に家庭などでの個人的な利用を想定している．ネットワーク用のソフトを標準で内蔵したほか，Windows では煩雑だったハードやソフトのインストール（install：システムへの組込み）を自動化した．これは**プラグ・アンド・プレイ**（plug and play）と呼ばれ，周辺装置などを新たに増設するとき plug（装着）し，即座に play（使う）できる機能である．シングルユーザー/マルチタスク用．

4）Windows NT（32/64 ビット MPU 用）

Microsoft 社が，1993 年 に開発した，主に企業などでのネットワーク環境下での複数ユーザーによる利用を想定した，UNIX に対抗する，GUI 環境の OS である．UNIX と比べると，Windows 95 と同様の操作性や慣れ親しんでいる同じアプリケーションソフトが使えるなど，パソコンユーザーには使いやすく，価格/性能比も優れている．たとえば，MPU は Intel 社の i80486～Pentium～Pentium Pro の他，WS に使われている Mips 社の R シリーズや，DEC 社の Alpha シリー

ズなどにも対応しているので，コンピュータパワーの必要なユーザーはRISCシステムが使える．Windows 95に比べて，ネットワークやセキュリティなどの管理機能が強化されている．NTには各種サーバーにも使用できるServer版とクライアント（普通のユーザー）が使うWorkstation版の2種類がある．マルチタスク用．

5）OS/2 Warp（32ビットMPU用）

IBM社が，当初Microsoft社と共同で開発に着手したが，後に単独で1994年に販売した32ビット用のGUI OSで，Windows-NTに対抗するものである．MPUはi80486～Pentium～Pentium Proの他，PowerPCシリーズにも対応している．マルチタスク用．

6）パソコン用UNIX

飛躍的にCPU性能の向上したパソコンをWS化するために，WSのUNIXの機能をパソコン用に移植したUNIX（互換OSを含む）である．安価なパソコンを使って，本来のパソコンOSとUNIXの双方を切り替えて使えるという利点がある．大別してBSD系の商用のBSD/OS，NEXTSTEP，MachTenやフリーソフトのFree BSD，およびSystemV系の商用のUnixware，Solaris for x86，フリーソフトのLinuxなどがある．フリーソフトのUNIX互換OSといえども世界中の多数のユーザーにより改良された，信頼のできる，高機能のマルチタスク/マルチユーザーのOSであり，本格的なネットワーク環境を提供している．その上，ソースコードが公開されているので自分の責任でシステムを自由に改変できる．

（d）Windows CE

Microsoft社がWindowsユーザーのセカンドマシンとしての携帯情報端末や家電製品向けに開発したOSで，小さなハードウェア資源で個人情報管理ツールや電子メールソフト，WWWブラウザなどを利用できるようにしている．

3-3　UNIXの特徴

UNIXは，普及の段階でAT＆T社やカリフォルニア大学バークレー校（UCB）がそれぞれ独自の機能を追加して改良したため，大きく分けてSystem V系（システムファイブ）とBSD系（バークレー）の二つのUNIXが存在することとなった（図3-4）．両者は1988年にOSF（Open Software Foundation）とUI

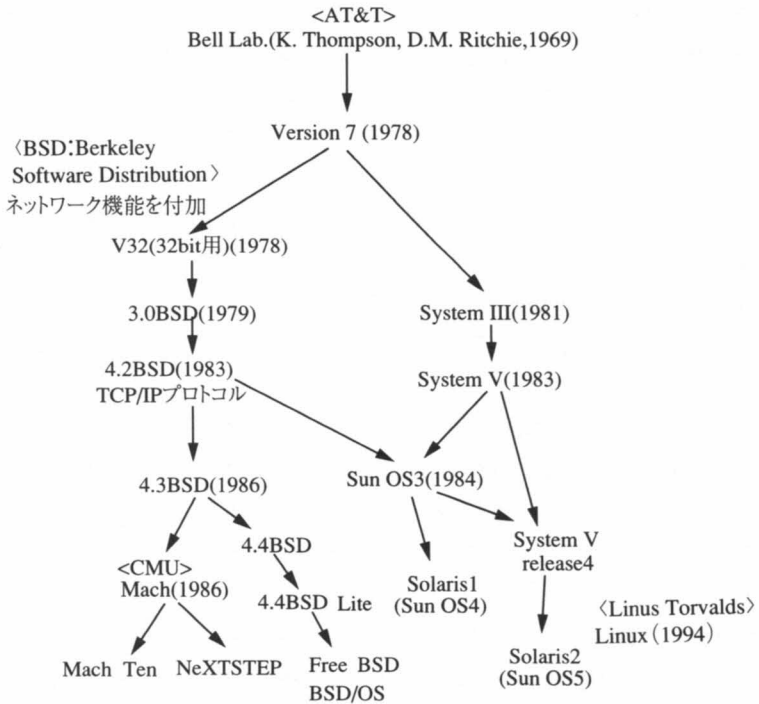



図 3-4　UNIX 小史

（UNIX International）という組織を作り対立したが，その後 1994 年に統一 UNIX 仕様が決まり現在に至っている．以上の経緯から統一仕様以前の UNIX では，複数の企業が BSD 系と System V 系の OS を勝手に制作販売したので，両系での仕様にかなりの違いが生じたばかりでなく，同じ系でもその機能に一部異なるものもあるので，実際に UNIX を使うときにはじゅうぶんな注意が必要である．BSD 系はネットワークに強いという特徴があり，また大学による改良であるため学術研究機関で，System V 系は一般企業で用いられることが多い．

以下に UNIX の特徴を述べる．

1）マルチタスク/マルチユーザーでありながら，カスタマイズによる柔軟な操作環境をユーザーごとに作ることができる．

ユーザーごとにシェルを選択できる．シェルはコマンドインタープリタであるだけでなく，簡易プログラミング言語の機能をもつので，シェルをうま

く使えば高度な処理が手軽にできる．現在標準的に使われているCシェル系のcshやtcshのほかに，Bシェル（Bourne shell）系のshやbashなどがある．

2）ソフトウェアツールが豊富で，ソフトウェア開発に向いている．

ツールとしてプログラムなどの文書を作成するためのエディタ（vi），ワードプロセッサ（roff），プログラムジェネレータ（lex，yacc），その他のユーティリティが備えられている．プログラミング言語はCが標準で，Fortran，Pascal，COBOLなどが使える．

3）ネットワーク機能が強力である．

UNIXはネットワークの運用・管理に関する機能をすべて備えている．ネットワークはBSD UNIXによって広まり，長期にわたり改良が続けられて発展してきた．そこで，UNIXの充実したネットワーク機能は，他のOSのネットワーク機能と比べると，高い信頼性と拡張性を提供しており，UNIXは現在のインターネットを支える基盤OSとなっている．現在でも新しいネットワーク機能はUNIX上で開発されてから，他のOSに移植されている．

4）フリーウェア（freeware）が豊富である．

UNIX上で利用できるアプリケーションをはじめ，ユーティリティなどフリーのソフトウェアが豊富である．たとえばFSF（Free Software Foundation）のGNU Emacs（グニューイーマックス）エディタや，GNU Cコンパイラなど．

【フリーウェア（freeware）とシェアウェア（shareware）】

ネットワークやCD-ROMなどを介して自由にコピーできるソフトで，フリーウェアは，著作権は制作者にあるが，使用や他人への譲渡が自由で無料で使用できるソフトであり，シェアウェアは試用して利用価値が認められれば低額の代価を支払えばよいソフトである．これらは合わせてオンラインソフトウェア（online software）と呼ばれることがある．

フリーソフトは作者が無償で提供するものであるが，動作保証はないので自己の責任で利用しなければならない．ただし，定番ソフトは，ネットワークを介して多数のユーザーにより鍛えられて，商品ソフトよりも優れたものも少なくない．FSFのGNUのフリーソフトは，ソースコードが公開されており，一定の条件を満たせば自由に，これを複写し，自己の責任で改変して頒布できる．

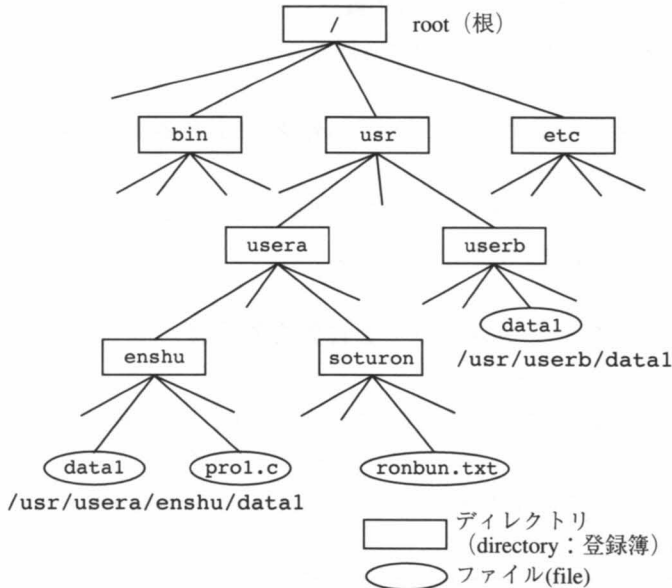
さらに，FreeBSD，Linux などのように UNIX 互換 OS 自身もフリーソフトとして配布されている．このようなフリーソフトのオープンな流通は UNIX 文化ともいえるもので，インターネットや CD-ROM などのメディアを介して，無料で導入し利用できる．

木（tree:ツリー）構造によってファイルの管理が簡単になる．ファイル名が同一でもファイルを登録するディレクトリが異なれば別のファイルとして取り扱える．このようなファイル構造は，MS-DOS でも採用されている．

図 3-5 UNIX のファイルシステムとパス
パス（path）とは，目的のファイルにたどりつくまでのディレクトリの経路のことである．たとえば，/usr/usera/enshu/datal は，ルートディレクトリを起点とした，ファイル datal への絶対パスを記述している．

5）ファイルシステムが単純で使いやすい．

階層的構造（rooted tree：根付き木状）になっており，汎用機用 OS と比べてファイルの管理が容易である．各ユーザーは，自分のファイルに UNIX を使用する“所有者/グループ/その他”のユーザーごとに，読み・書き・実行のアクセス権を任意に設定することができ，グループによるファイル共有が可能で共同作業が効率的にできる．

6）移植性が高い．

カーネルが簡素で比較的小規模であり，その大部分がC言語で記述されており，ハードウェアに依存しない．そのため，UNIXはWS以外の多くの機種に移植されている．

7）資源管理をすべてファイルの概念で統一している．

ファイル，入出力装置，プロセス間通信もまったく同じに扱うことができる．

8）パソコンOSと比べるとシステム管理に専門的知識が必要で，システム管理者の負担が大きい．

9）対話的にコマンドライン操作が効率的にできるが，コマンドおよびそのオプションの数が多すぎて煩わしい．

3-4　アプリケーションソフトとは何だろうか

ユーザーが目的をもって使用するソフトであり，通常OSの管理下で動作する．アプリケーションソフトには同じ用途でもたくさんあるが，初心者は日常的に使用するソフトは用途ごとに一つと決めて，それらを使いこなすようにしたほうがよい．

【X-Window システム】

MIT（マサチューセッツ工科大学）で1984年頃に開発された，UNIX用のウィンドウシステム．ネットワークに対応し，1台のディスプレイ端末上で複数のウィンドウを開き，各ウィンドウ上で別の処理を実行したり，図形や画像を表示できる．UNIXにおいてGUIの基盤となるもので，OSFが推奨するOSF/Motif（モチーフ）やSun Microsystems社などが推すOPEN LOOK（オープンルック）などもこの上で実現されている．他の多くのUNIX関連ソフトと同じくフリーで公開され，ハードウェアへの依存性が低く，移植性が高いため広く普及している．現在11版まで改訂されており，X11（エックスイレブン）と呼ばれている．

（1）文書処理用

（a）日本語かな漢字変換ソフト

コンピュータで日本語を扱う場合，キーボードでは漢字を直接入力できない．このために開発されたのが日本語かな漢字変換ソフトによる日本語入力システム（IM：Input Method）である．これは日本語フロントエンドプロセッサ（Front End Processor：FEP）とも呼ばれている．かな漢字変換ソフトは，かなとそれに対応した日本語の漢字辞書とが対になっており，かなから漢字への変換方式と辞書の内容の豊富さが変換効率に大きく関係している．最近のかな漢字変換ソフトでは，変換効率を上げるために，日本語の構文解析・意味解析などの技術的な困難を，便宜的に安価なメモリを大量に使うことで切り抜けている．変換効率はユーザーが頻繁に使う単語や熟語を辞書に登録することによって改善できるようになっているので，ユーザーは積極的に単語登録して自分の辞書を育ててゆく必要がある．

漢字コード（情報交換用漢字符号系：JIS X 0208）の規格制定と，かなを漢字に変換する方式の発明およびかな漢字変換ソフトを日本語ワープロソフトとは分離させることにより，明治以来の“機械処理になじまない”日本語の問題が解決をみた．この発明以前はコンピュータではカタカナしか扱えなかったが，これは漢字やひらがなが使えないという非常に不自然な日本語処理で，機械の都合のために日本人の言語生活が大変な不便を強いられるという，知的活動を支援するための機械という立場からは本末転倒したものであった．なお，日本語ワープロ出現以前に漢字が扱える和文タイプライタが発明されていたが，入出力が面倒で手書きよりも低速，記憶機能がなく文書の再利用が不可能で，単なる清書機械にすぎず，一般に普及することはなかった．

パソコンとかな漢字変換ソフト，日本語ワープロソフトの開発により，自然な日本語の高速な処理と文書作成が個人のレベルで実用化され，豊かな言語生活が保障されたこと，および人間が機械に合わせるのではなくて，機械が人間に合わせる方式を確立した意義はきわめて大きいものがある（ATOK，VJE，MS-IME，EGBridge，ことえり，Wnn，Canna，他）．

（b）エディタ（editor）

テキスト（文章）を書き，編集（edit）するツールである．もともと英語のコマンドを入力したり，プログラムを書くための道具であったが，最近では電子メールなどで日本語の文章を書いたり，ワープロの代わりに文書作成に

使われることも多い．ワープロと違って文字の装飾機能や印刷機能は簡略化し，文章を書く機能に特化しているので，プログラムが小さく，画面スクロールや文字の検索・置換，文章の編集（複写，移動，削除，挿入）が高速で軽快である．また，互換性に問題がない，音声出力に対応するテキスト形式でファイルを保存しておけるという利点がある（WZ エディタ，MIFES，Simple Text など．この他，秀丸，YooEdit などシェアウェア，フリーウェア

【テキストフォーマッタ（text formatter）と WYSIWYG（What You See Is What You Get）】

テキストフォーマッタは，エディタにより作成した書式制御コード付きテキスト（普通のテキストに，タイトル，文字飾りなどの文書整形を指定するタグを付けた文書）ファイルを読み込んで，指定された書式制御コードに従って文書を整形し印刷するコンパイル型のソフトである．コンパイル型のソフトであるため，書式制御コード（コマンド）を覚えることが煩雑であるとか，文章の入力時に出力結果を画面上で確認しながら作業できない欠点があるが，あくまでテキストファイルであることから，機種やソフトの違いを越えてファイルの互換性が保たれるので，インターネットなどでの文書の授受や電子出版の編集，データベースの検索などの利用にはきわめて都合がよい．また視覚障碍者には画面上で書式を確認するということは難しいので，書式指定のコマンドをテキストに埋め込んで使うテキストフォーマッタの方が使いやすい．テキストフォーマッタとしては UNIX には古くから nroff や troff がある．数式の記述・表示能力に優れた TEX（テフまたはテック）は，数学や物理学関係の文書作成によく用いられている．書式制御の約束事を定めた言語を一般にマークアップ言語（markup language）といい，HTML は WWW のハイパーテキストを書くときに使われる言語である（第4章 4-7 参照）．

これに対して WYSIWYG は，文字どおり“見えているものがそのまま得られる”ということで，画面上に表示されたものが大きさや字体を含めてそのまま印刷できる環境を指す．WYSIWYG は人間（晴眼者）－機械系インターフェースの基本を表す言葉で，コンピュータの使いやすさと深く関わっているが，作成されたファイルに互換性がないという欠点がある．

で優れたものが多い).

(c) ワープロ (word processing) ソフト

エディタ機能に加えて，文書を作成する (考えながら文章を書く，推敲する，編集する，文字を装飾する，校正する，記憶する，清書する，印刷する) 機能をもったソフトである．そのため，ワープロソフトで作成された文書ファイルは一般に互換性がないので注意が必要である．ワープロは単なる清書機械ではなくて，文書の再利用が可能で，文案は何度でも推敲することができるので考えることを支援するツールであり，総合的な文書作成ソフトである．各国語用のワープロがあるが，英文ワープロソフトが最初に (Wordstar, 1979) 実用化され，日本語ワープロソフトは漢字処理の問題をかな漢字変換という方法で解決して実用化された (一太郎，1985)．現在では日本語用ワープロでも英単語のスペルチェッカーを備えるなど，和英両用ワープロとして使えるほか，文書中に画像を組み入れることも可能になり，DTP ソフトに近い機能を備えてきた．ただし，最近のワープロソフトのなかには日常の文書作成ではほとんど使わない機能も含む，きわめて多くの機能を満載したので，ワープロを快適に使用するには 32 MB を超えるメモリ，100 MB を超えるハードディスク容量を必要とするほどまでに肥大化していることは問題であろう．普通のユーザーは文書作成の機能に絞った，スリムなワープロソフトでじゅうぶんである．

日本におけるパソコン利用の第一位は日本語ワープロであり，日本語ワープロは日本人のコンピュータライフばかりでなく，広く言語生活や日本文化に大きな影響を与えつつある．なお，日本語ワープロ専用機は，日本語の文書作成に特化させたコンピュータである (一太郎，MS-Word，WordPerfect, OASYS，EGWord，他).

(d) DTP (ディーティピー：Desk Top Publishing：卓上出版) ソフト

ページレイアウト・ソフトとも呼ばれ，文書上に文章や画像を割り付けるためのものである．日本語版では縦書きの文章も取り扱え，広報紙や書籍などの出版物の版下原稿の作成に利用される (QuarkXPress，PageMaker，他).

(2) 表計算 (spread sheet) ソフト

表計算ソフトは表形式のデータシートに，データとなる数値と集計用の簡単な式 (指示，命令) をセル (ます) に入力することにより，容易に集計・

統計計算や数値計算などができるソフトである．現在ではそれらのデータをいろいろな種類のグラフにすることができる．さらに，マクロと呼ばれる簡易プログラム言語を用い，処理の手順をプログラム化しておくことにより，定型的な処理を一度の指示で実行できる．表計算ソフトには，統計・ビジネス・算術などの多数の関数や各種のツールが用意されているので，通常の事務計算やデータ解析，グラフ表現は，現在ではこの表計算ソフトを利用することで間に合うことが多い（MS-EXCEL，Lotus 1-2-3，Wingz，他）．

	A	B	C	D	E	F
1	**番号**	**数学**	**英語**	**物理**	**平均**	
2	123	85	90	90	88.33	
3	125	90	100	85	91.67	
4	126	75	70	80	75.00	
5	130	60	85	75	73.33	
6	132	95	65	80	80.00	
7						
8	**平均**	81.00	82.00	82.00		
9						
10						

たとえば，セル E2 には第 2 行の数学，英語，物理の平均値が表示されているが，ここには =average（B2..D2）という，関数を用いた平均値を計算する式が埋め込まれている．

図 3-6　表計算の表示例

(3) データベース（database）ソフト

データベースとは，ある目的をもって情報を整理し蓄積し，必要な情報を取り出しやすくしたものである．このための情報を入力し蓄積する作業と，必要な情報を検索するためのソフトがデータベースソフトである．

例

- 人事管理用データベース
- 学籍データベース
  在籍者名簿，成績管理，卒業生名簿，他
- 顧客データベース
  顧客名簿管理（ダイレクトメール用）
- 図書館蔵書データベース

蔵書検索（書名検索，著者名検索，キーワード検索，他）
- 新聞記事データベース

データベースの構造には，階層的な木構造で記述する階層モデル（hierarchical model）や，データを親（owner）と子（member）に対応づける親子集合型の網モデル（network model），それにデータの表現に関係（relation）だけを用いる関係モデル（Relational Data Base：RDB，リレーショナル型）がある．

リレーショナルデータベースには関係代数として**和**，**差**，**積**などの集合演算のほか，**結合**（join），**射影**（projection），**選択**（selection）がある．たとえば，結合とは学籍番号を手掛かり（キー：key）に名前と成績を対応づけて成績表を作成することであり，射影とは学籍番号と名前だけを抜き出して名簿を作成することで，選択とは男女別の名簿を作成することなどにあたる．

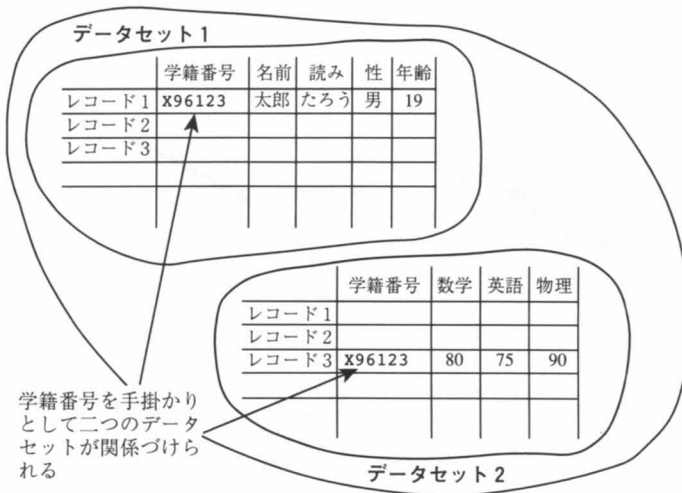



図 3-7 データベースの例

データベースは常に最新の情報を蓄積しておかねば意味がなく，そのために情報の追加・修正・削除などの更新という重要な作業が存在する．このような作業の容易さや，検索の高速度化，ネットワークを介しての利用（分散データベース）およびマルチメディア化が，現在のデータベースソフトに要求される機能となっている（ORACLE，informix，dBASE，4D，Paradox，

MS-ACCESS，他).

(4) グラフィック (graphics) ソフト

図形や画像を作成したり処理するソフトで，大別してペイント (paint) 系，ドロー (draw) 系の描画用ソフトと写真などの画像の調子を変えたり修正するためのフォトレタッチ (photo retouch) 用ソフトがある．グラフィックソフトではファイルの保存形式がソフトによりさまざまであるので注意する．

ペイント系ソフトは，筆でキャンバスに絵を描くような使い方に向いており，描画する最小単位である画素と呼ぶ点（ドット）を塗りつぶすことによって作図するソフトである (図 3-8)．設定によって各画素は白黒からフルカラーと呼ばれる約 1600 万色までの表現が可能である．

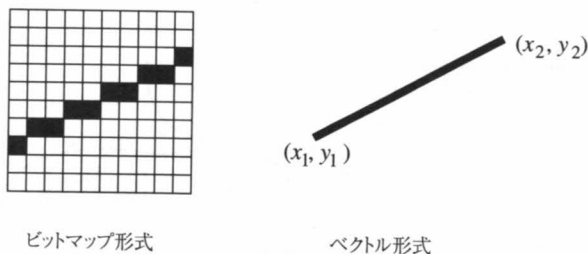
一方ドロー系ソフトとは，図形の構成情報を座標や線の太さ，色などの属性としてベクトル形式で処理するソフトである (図 3-8)．したがって，いったん描画した線の位置の変更，および太さや色の変更は容易に行え，簡単な製図や説明用の図面作成に向いている．

ビットマップ形式の場合は描画する最小単位であるドットを塗りつぶして表現するが，ベクトル形式の場合は線の開始座標から終了座標までを連続的に描く．ビットマップ形式では線を拡大するとギザギザが目立つようになるが，ベクトル形式では線がギザギザになることはない．

図 3-8　ビットマップ (bitmap) 形式とベクトル (vector) 形式で一本の線を描いた例．

現在では描画用ソフトのほとんどはペイント系とドロー系の両方の機能をもっており，切り替えて利用できるようになっている（マックペイント，スーパーペイント，Adobe Illustrator，マックドロー，COREL Draw，他)．

フォトレタッチ用ソフトとは，写真やスキャナーで取り込んだ画像やペイ

ント系ソフトで描いた画像などを修正するためのソフトである．画像の明るさやコントラストの調節のほか，ぼかしやモザイクをかけたり，回転やねじれなどの特殊な変形を簡単に行うことができる．(Adobe Photoshop，他)．

（5）CG（Computer Graphics）**ソフト**

コンピュータ支援によるデザイン，アニメーション，CG 映画などの制作に使われるグラフィックソフトである．

【コンピュータサイエンスの頻出概念ー再利用（reuse）とバインディング（binding)】

バインディングとは基本的なもの（抽象概念など）に新たな属性を付加してより具体的な機能を生み出すことである．ノイマン型コンピュータではあらゆる処理がメモリに格納したプログラムやデータの再利用と計算機能を用いたバインディング（付加）に基づいている．バインディングは専門用語であるので，本文では広い意味で編集あるいは加工という，わかりやすい日常語を用いた箇所もある．したがって，ユーザーはコンピュータを利用する仕事ではどのようなものであっても漸進的に作業を進めてゆけばよいのである．ただし，ファイルの保存が不可欠である．

再利用とバインディングの具体例をあげると

- ファイルにアプリケーションソフト固有の属性を付加する．
- ワープロによる文書作成（テキスト＋整形）
- アプリケーションソフトの雛形を用いた定型処理
- プログラムの反復構造における処理
- プログラムの設計で段階的詳細化（stepwise refinement）やモジュラープログラミングといわれる手法（第 3 章 3-13 参照）
- HTML ファイルは普通のプレインテキストにタグを埋め込むことにより新しい表現力を獲得している（第 4 章 4-7 参照）．
- プログラム内蔵方式では論理素子を繰り返し再利用することにより，素子の数を減らし設計を簡単化させている．

(6) エンターテイメントソフト

(a) ゲームソフト

ワープロとともに家庭用パソコンで最も利用され，親しまれているソフトである．

(b) 音楽ソフト

音符やコードなどを入力することにより，シンセサイザなどの電子楽器と連動して演奏ができ，手軽に作曲や演奏が楽しめるソフトである．またピアノやバイオリンなどの練習用ソフトもある．

(7) 統合化ソフト

家庭などでよく使われるワープロ，表計算，簡易データベース，作図，パソコン通信などのアプリケーションを統合化したソフトである．各機能はそれぞれの専用ソフトよりは劣るものの，低価格であり，ソフトが小規模で動作が軽快で，使いやすく，日常生活で必要とされる一通りの作業がこの一本のソフトでできる利点がある．入門者はこの統合化ソフトからパソコンに慣れるとよいであろう．

(8) 統計処理・数式処理・数値解析ソフト

一般的な統計計算や数値計算であれば表計算ソフトでもビジネスや教育用にじゅうぶん使えるが，この統計処理・数式処理・数値解析ソフトはより高いレベルの学術研究や開発業務にも使用できる計算処理専用のソフトである．

1）決められた形式でデータを与えることにより，高度な統計計算や多変量解析などの処理とそれらのグラフ化ができるソフトである（SPSS：Statistical Package for the Social Science，SAS：Statistical Analysis System，他）．

2）数式をそのままの形式で直接入力することにより，微分や積分などの数値計算や種々のデータ解析からグラフ化までできるソフトである（Mathematica, Maple V, MathView, Mathcad，REDUCE，他）．

現在ではユーザーが統計計算や科学技術計算のプログラムを自作することは少なくなっており，専門教育や研究開発ではこれらの既製のソフトを使って，計算や解析，作図，プレゼンテーションすることが多くなっている．

（9）CAD/CAM/CAE（Computer Aided Design / Manufacturing / Engineering）ソフト

コンピュータ支援による開発，設計製図，シミュレーション，製造・組み立て用のソフトである．

従来，紙と鉛筆で行っていた設計製図をコンピュータ上で行うため，同一図面上で同じ形状の図を繰り返し作図する場合など，コピー機能を利用することにより効率よく作図することができる．図面はファイルの形式で保存管理されるため，図面の複製や旧図面の追加修正による再利用が簡単にできる．

現在のCADソフトは単に製図をコンピュータ支援によって行うばかりではなく，描かれたものをデータベース化する機能も備えており，これを利用することにより回路図などでは図面上に作図された部品の集計などを簡単に行うことができる．さらに2次元の作図データから立体的な3次元の作図（wire frame modeling）や面の塗り潰し（rendering），照明による陰影の表示（shading）まで行い，実物に近い形をコンピュータ上で確認することができる．このように，CADで作成されたデータはCAM/CAEでのシミュレーション実験や製造・組み立てに利用できるようになっており，CAD/CAM/CAEソフトは統合化エンジニアリングの要となるソフトである（CADAM，AutoCAD，MiniCAD，他）．

(10)　グループウェア（groupware）

コンピュータに支援された共同作業のための，主としてビジネスユースを目的としたソフトである．サービスを提供するサーバーとサービスを受ける複数のクライアント（client）から構成されたネットワーク内のグループで，情報を共有して仕事を効率よく進めるためのソフトである．電子掲示板，メールの授受，ワープロで作成した書類の回覧（電子稟議（りんぎ）システム）などのほか，伝票の発行から集計業務まで自動的に処理できる．（Lotus Notes，MS-Exchange，他）．

3-5　自然言語，人工言語，プログラミング言語

コンピュータの世界では，日本語や英語などのように人間が日常的に用いている言語を自然言語と呼び，プログラミング言語などのように人間が意図的に創りだした言語を人工言語と呼んでいる．

人工言語にはコンピュータ登場以前にもポーランドのザメンホフ（L. L. Zamenhof）が1887年に創ったエスペラント（Esperanto）などがある．また，自然言語の簡略化を計ろうとするベーシック英語やローマ字化日本語も人工言語といってよいかもしれない．しかし，いずれの試みも信奉者の熱意と努力にもかかわらず成功していない．その理由は人工言語の表現力が自然言語とくらべてはるかに貧弱であるからであり，それらの人工言語は社会生活で自然言語に取って代わるだけの便益もなければ魅力もないからである．それらの人工言語は，文化を継承し創り出す力がないといってよいだろう．日本語をローマ字化表記してもかな漢字変換しない分だけキーボード入力が効率的になるだけで，コミュニケーション全体の効率や表現力を考えると，漢字かなまじり文の表記にはとうていかなわない．

それではなぜ人間はコンピュータにはプログラミング言語という人工言語を使うのであろうか．それは現在のコンピュータがプログラミング言語という機械向きの言語しか受け付けないからである．人間が大変な不便を堪え忍んでプログラミング言語を用いているにすぎないのである．ではなぜ人間はこの不便を堪え忍ぶことができるのであろうか．それは，

1）人間はプログラミング言語を用いてコンピュータを動かすことにより，自らの知的活動を支援させて多大な便益が得られる

2）プログラミング言語自体は貧弱な表現力しかもち得ないが，コンピュータを動かすことにより，人間は豊かな自己表現の手段とコミュニケーション力を獲得し，古い文化を継承してゆくだけでなく，新しい文化を創造することができるからである．この点が従来の人工言語とプログラミング言語の働きの根本的な違いである．そうでなければプログラミング言語は趣味の世界でほそぼそと生き延びていくしかない．

3-6　プログラミング言語とは何だろうか

コンピュータは，本来**機械語**（machine language：マシン語）と呼ばれるハードウェアに密着した命令によってのみ動作する．機械語はハードウェアの設計時に生まれるもので，0と1の符号の系列によって記述され，しかも機械（CPU）に依存しているため，汎用性がまったくない．他方，人間がこのような機械語プログラムを理解することはきわめて難しいことである．そこでまず自然言語

に近い言葉，すなわち**プログラミング言語**を用いてプログラムを作成することでこの難度と不便を軽減し，次にコンピュータ自体の力を借りてプログラムを機械語に変換する方式がとられるようになった．実行時の効率は低下してもプログラミング作業の容易さ，さらにはコンピュータを使って仕事をさせる際のトータルの効率の良さを選択したのである．

（1）プログラミング言語と自然言語の本質的な違い

自然言語は人間と人間の双方向のコミュニケーションのための道具であり，人間の思考の道具でもあるが，プログラミング言語は人間からコンピュータへの命令という一方向のコミュニケーションの道具である．コンピュータはプログラミング言語を用いて思考することはなく，ただ人間の命令を実行するだけである．

（2）プログラミング言語と自然言語の具体的な違い

プログラミング言語では

1）使われる単語の意味は，通常文脈や前後関係がなくても一義的に決まっている．

2）単語，文，記号の一点一字の間違いも許されない．

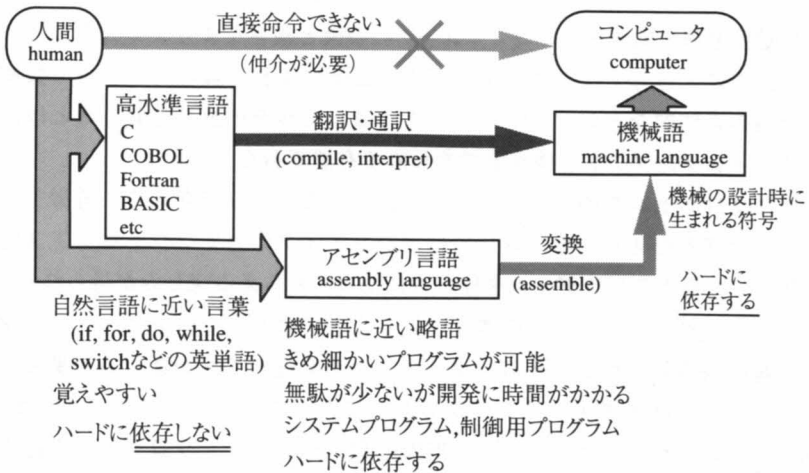



図 3-9 プログラミング言語の役割と特徴

3）語彙の数も構文の種類も自然言語と比べるとはるかに少ない．
　たとえば，C 言語であらかじめ約束された単語（予約語）はわずか 32 語である．
4）文法が簡単である．たとえば，品詞，人称，時制などはない．
5）記号の使い方が独特で，記号は頻繁に用いられる．
6）多重の繰り返しや多重分岐の文が多い．
7）音声がない．

3-7　何のためにプログラミング，プログラミング言語を学ぶのか

プログラミングと料理は，材料を揃え，道具を使い，手順に従って，時間をかけて目的のものを作る点で，よく似ている．今日では食事を外食や調理済み食品で済ませることができても，料理を手作りすることがなくならないように，ソフトウェアも既製のアプリケーションソフトで間に合わせることも可能に見えるが，プログラムを自作する必要性はなくならない．便利なアプリケーションソフトがたくさんあるなかで，プログラミングをあえて学ぶ意義はどこにあるのだろうか．それはプログラミング言語を学んでプログラムを自作することにより，

1）アプリケーションソフトを使っているだけではわからない，コンピュータの動作原理や機能およびコンピュータの特徴と限界をよりよく知ることができる．特に，自分でプログラミングすることにより，論理的エラーや数値計算の誤差の問題などのソフトウェアの特徴と限界を体感しておくことは，アプリケーションソフトを使う上できわめて有益である．

2）プログラムを創作する楽しみが得られる．自分で考えて，苦労して作動させた感動を味わえる．さらにはボランティアとしてフリーウェア文化に参加して，自作のプログラムを他の人に使ってもらえる楽しみが得られる．

3）コンピュータを自分の考えにより自在に動かせ，コンピュータを使った問題解決能力を養成できる．コンピュータを使って何か新しい仕事をしようとすると，既製のアプリケーションソフトだけでは不十分なことが多い．自分でプログラミングできれば，問題処理手順を考え，プログラムを作成してそれを実行し，問題を解決していける．

4）ソフトウェアに独創的な機能を追加することができる．たとえば，BSD

UNIX には，公開されていたベル研究所の UNIX のソースコードを自分たちの力で自由に改変し，C シェルという独創的な機能が追加された．

5）コンピュータの潜在的可能性を自分の考えによって引き出すことができ，今までにない，新しいコンピュータの応用を実現することができる．たとえば，BSD UNIX はネットワークという，コンピュータの新しい用途を切り開いた．

6）プログラミング言語設計者の設計思想を学ぶことができる．

料理人と同じように，プログラマにもアマからプロまでさまざまなレベルがある．一般学生のプログラマは，上記の 1)～3) を目標に，プログラミングの考え方を理解しておく必要がある．しかし，プロのレベルのプログラマを志す人は，1)～6) までを目標にプログラミングを学んでほしい．

たとえば，コンピュータ自体を研究対象とする科学である「コンピュータサイエンス (computer science，計算機科学)」(付録 5 参照) や，計算物理学や数値流体力学などのように，コンピュータを専門的に利用する立場の科学である「コンピュテーショナルサイエンス (computational science，計算科学)」を専攻したい学生，および将来ソフトウェア開発のシステムエンジニア (SE，付録 4 参照) やコンピュータを用いた制御エンジニアになろうと考えている学生は，プログラミングの考え方にとどまらず，じゅうぶんなプログラミングの能力を必要とする．

以上のように，プログラミングの学習目的は，プログラミング言語の文法やプログラミング・テクニックの習得にあるのではなく，プログラミングの考え方やプログラミング言語の設計思想を理解すること，問題の処理手順を学ぶこと，プログラミングを通じて問題解決能力を養成することにある．そうしておけば，たとえ学んだ言語が将来廃れることがあっても，他のどのような新しい言語を学ぶときにも役に立つ．

3-8 高水準プログラミング言語と低水準プログラミング言語

プログラミング言語は，どれだけ自然言語に近い表現ができるかにより，高水準言語と低水準言語に分けることができる．プログラミング言語は，ハードウェアへの依存を減らしプログラミングを容易にする立場から，歴史的には低水準言語から高水準言語への開発という順序で進歩してきた．

（1）低水準プログラミング言語の特徴

アセンブリ言語（assembly language）のように，CPU に依存した，機械向きのプログラミング言語を低水準言語と呼ぶ．アセンブリ言語で書かれたプログラムは**アセンブラ**（assembler）により機械語に変換（assemble）する．

アセンブリ言語には次のような特徴がある．

1）機械に依存し，移植性がない．
CPU が異なれば，命令の種類や機能が全く異なる．

2）実行時の効率が高い．すなわち，処理速度が速く，メモリ占有量が少ない．

3）機械語とほぼ一対一に対応する，実行単位の小さな命令を使う．

4）命令はニーモニックコード（mnemonic code：表意記号）で表す．
たとえば，LOAD，STORE，ADD 命令など．

5）CPU のレジスタを直接指定したり，メモリはアドレスを指定して操作しなければならない．

6）高度できめの細かい処理ができる．

7）プログラムの可読性が悪く，保守性が悪い．

8）プログラムの作成が容易でなく，プログラミングの生産性が低い．

【英語とプログラミング言語，インターネット】

プログラミング言語のほとんどすべては英語をベースにしている．用いられる英語は簡単であるが，英語的な発想を必要とすることがある．そのことが日本人がプログラミングでエラーを起こす大きな一因となっている．また，プログラミング言語（特に C 言語）では英語の単語を省略した用語が頻繁に出てくるので，これらが何を意味しているかを知っておくことはきわめて実用的である．

インターネットを流れる情報の 8 割は英語といわれており，英語ができなければインターネットは使いこなすことがむずかしい．インターネットを流れてくる膨大な量の情報をすばやく読みこなし，世界中に自分達のニュースや主張を正確に伝える発信型の英語力が要求されている．

(2) 高水準プログラミング言語の特徴

CPU に依存しない，より人間向きのプログラミング言語を高水準（高級）言語という．高水準言語の特徴は次のとおりである．

1）プログラムは，CPU に依存せず，メーカー，機種，OS が変わってもそのまま利用でき，他機種への移植性が高い．

2）ニーモニックな命令でなく，自然言語に近い演算子，式，文を使う．

3）コンパイラ（compiler）を用いてプログラム全体を一括して機械語に翻訳（compile）する．あるいはインタープリタ（interpreter）を用いて

【コンピュータサイエンスの頻出概念ー抽象化のレベル（levels of abstraction)】

コンピュータの利用ではユーザーはさまざまなレベルで抽象化を利用して仕事の効率化をはかることができる．

- 高水準言語を使用すれば，レジスタやメモリアドレスというハードウェアの物理的詳細に煩わされることなくプログラムを書くことができる．
- UNIX では入出力装置もファイルと同じように扱う．データの入出力に注目すれば，物理的装置を捨象して，入出力装置もディスクファイルも共通に 一つのファイルという概念で統一的に扱える．
- OS はプログラムの実行時には記憶領域を主記憶装置と補助記憶装置という物理的階層構造でなく，仮想記憶という考え方で統合化して扱う．
- プログラムのモジュール化と情報隠蔽
  よく使う基本的な処理の詳細をモジュールの中に隠蔽してしまう．これを情報隠蔽と呼ぶ．たとえば，数学の関数は通常ライブラリとして提供されているので，これを使えばよく，三角関数や対数関数を求めるプログラムを自作する必要はない．このように，関数ライブラリを用いれば，ユーザーは自分本来のプログラムの作成に力を集中できる．
- 応用パッケージソフトの利用
  アプリケーションソフトを利用すれば，処理の詳細に煩わされることなく，自分が本当にやりたいことに専念できる．たとえば，数値計算用のパッケージソフトを利用すれば，ユーザーはデータの解析と結果の表現に専心することができる．

プログラムを文ごとに機械語に解釈（interpret）し実行する．

4）プログラムは人間にわかりやすく，可読性に優れ，保守しやすい．

5）プログラムの作成は低水準言語よりもはるかに容易で，プログラミングの生産性が高い．

たとえば，二つの整数を加算する場合，アセンブリ言語ではどのレジスタを使うとか，メモリのどの番地を使うかを指定しなければならないが，本来これらのことは加算には本質的なことではない．高水準言語ではレジスタとかメモリ番地を使わないで，自然言語と同じように変数を使用して加算のプログラムが書ける．このように，アセンブリ言語では，レジスタの種類や数といったコンピュータのハードウェアの中身を知らないとプログラムが書けない．他方，高水準言語によるプログラミングではハードウェアの制約をあまり受けないで，より自然言語に近い表現でプログラムを記述することができ，それだけ言語の抽象性が高いといわれる．

しかし，いかなる高水準言語で書かれたプログラムといえども，実行能力的にはアセンブリ言語のプログラムを越えることはできない．高水準言語でできることは，アセンブリ言語でできることを，いかに人間にわかりやすくするかということである．高水準言語を用いたすべてのプログラムがやっていることは，機械語にまで翻訳してしまえば，単純な算術演算と論理演算である．

高水準言語によるプログラムとは

1）コンパイラ/インタープリタに機械語への翻訳の仕方を明示的に指示するもの

2）処理の考え方や手順を書いたもの

である．プログラムはコンパイラ/インタープリタが誤って解釈しないように書かれている必要があり，ここに約束事としての“文法”が生まれた．プログラムは文法が正しければよいというものではなく，人間にわかりやすく書かれていなければならない．プログラムは論理が明晰で，可読性にすぐれたスタイルで記述しなければならない．

```
00AE  F1          MODE5:  POP    AF
00AF  CD FD 02            CALL   COUNT
00B2  0E FF       M5_L1:  LD     C,0FFH
00B4  3E 00               LD     A,MSS
00B6  D3 51               OUT    (POB),A
00B8  3E 01               LD     A,1
00BA  D3 30               OUT    (LED),A
00BC  3E 02               LD     A,2
00BE  D3 30               OUT    (LED),A

00C0  DB 50       M5_L2:  IN     A,(POA)
00C2  E6 03               AND    03H
00C4  FE 00               CP     00H
00C6  C2 F3 00            JP     NZ,M5T

00C9  CD C3 01            CALL   RR_SEN
00CC  FE 80               CP     SR_LL
00CE  C2 D8 00            JP     NZ,M5
```

メモリ番地 ／ 機械語プログラム ／ アセンブリ言語プログラム

ロボットの駆動プログラムの一部．CPU はザイログ社の 8 ビット MPU である Z80．機械語プログラムを外部に表示するときには，2 進数でなくて，通常 16 進数を用いる．機械語プログラムが何をしているかを人間が理解することがいかにむずかしいことかがわかる．

図 3-10　機械語とアセンブリ言語のプログラム例

3-9　アセンブリ言語はどういう場合に使われているか

実行時に CPU などのハードの性能や特性を最大限に生かし，高速できめの細かい処理・制御を可能とするにはアセンブリ言語を用いなければならない．従来アセンブリ言語は OS などのシステムの記述や制御プログラムなどで用いられてきたが，今日ではアセンブリ言語が全面的に使われることは，組込み型のマイクロコンピュータでの利用を除いて少なくなっており，通常高水準言語（多くは C 言語）と組み合せて，部分的に使用されることが多い．

アセンブリ言語はあくまで個々の CPU に依存した言語である．したがって，汎用的なアセンブリ言語は存在しない．そこで情報処理技術者試験（付録 3 参

照）では，受験生が不公平にならないように，仮想的なコンピュータ COMET とその CPU 上で使うことのできるアセンブリ言語 CASL を使っている．

アセンブリ言語は次のような場合に現在でも使われている．

1）特別に高速性が要求されるデバイスドライバなどのシステムソフトや実験における計測・制御などの処理ルーチンで，実行時間およびメモリ占有量の厳しい制約から，高水準言語では実行不可能な場合．

2）高水準言語では記述できないハードウェア操作を必要とする場合．

3）実行時間やメモリ占有量に制約があり，仕事の内容から判断してもコスト的にみても，高水準言語を使うまでもない場合がある．たとえば，組込み型のマイクロコンピュータを使用して，家庭電化製品，OA（Office Automation）機器，FA（Factory Automation）機器などを制御する場合．

4）アセンブリ言語を用いたプログラムを作成することでコンピュータの基本動作を直接知ることができるため，コンピュータの学習に利用する場合．

3-10　高水準プログラミング言語にはどのようなものがあるか

高水準プログラミング言語は，手続き型言語と非手続き型言語に大別され，得意な対象や分野を絞って，用途別に開発され使用されている．主な高水準プログラミング言語の種類と用途には次のようなものがある（図 3-11）．

（1）高水準プログラミング言語の種類

1）FORTRAN（1955～）：FORmula TRANslation

科学技術計算用に世界で初めて開発された高水準言語である．古くからの仕様を引き継ぎ，FORTRAN 77 は構造化プログラミングが徹底しないなどという問題点があったが，これまで大学の計算センターの大型汎用機などで広く使われてきた．新規格の Fortran 90 の普及と膨大なソフトウェア資産の継承が今後の課題である．

2）COBOL（1960～）：COmmon Business Oriented Language

事務処理用の高水準言語で，これまで大型汎用機やオフコンなどで最も広

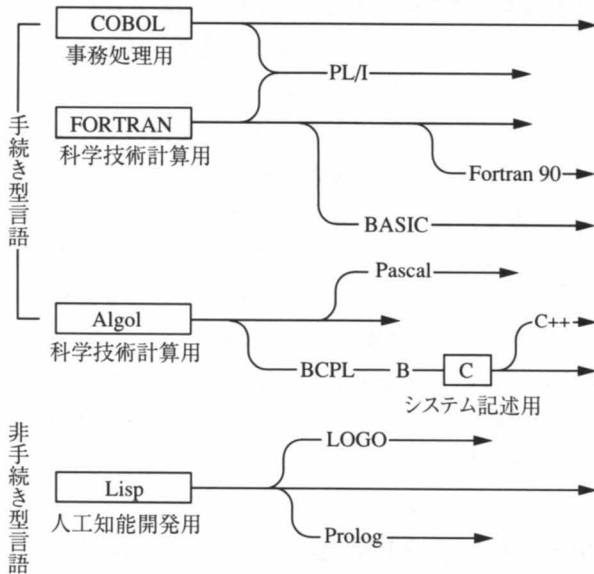



図 3-11　主な高水準プログラミング言語とその派生言語

く用いられてきた．ダウンサイジングの結果，現在では WS やパソコンでも使用されており，パソコンでは表計算ソフトやワープロソフトと連携させたプログラムを作成できる．FORTRAN 以上に膨大なソフトウェア資産の継承が重要な課題である．

3）BASIC（1964〜）：Beginner's All purpose Symbolic Instruction Code

初心者向きの学びやすい言語として，開発当初はプログラムを構造化できない問題点などがあったが，パソコン用のインタープリタ言語として広く普及した．最近の BASIC には構造化プログラミングも可能なコンパイラ言語もある．なお，Visual Basic は，Windows のアプリケーションソフトの開発を主目的にした，上級者向きの言語である．

4）C（1972〜）

もともとシステムソフト記述用言語として開発されたが，現在では科学技術計算用言語としても用いられるなど，汎用言語として幅広く用いられている（詳しくは 3-16 参照）．

5）その他：Pascal，Lisp，Prolog，Java など

（2）なぜ用途別に高水準プログラミング言語が開発されたか

高水準言語開発当時のハードウェア（CPU の速度，メモリ量など）の厳しい制約の下で貴重なコンピュータシステムをもっとも効率的に運用するには，用途別にコンパクトなコンパイラ/インタープリタを使用して実行プログラムを作成し，アプリケーションソフトを差し替えてコンピュータを働かせた方が合理的，実用的であったからである．用途別の方がコンパイラ/インタープリタの設計・開発もはるかに容易であり，また用途別の小さな言語の方がプログラミング言語学習者の負担が少なく，言語の使い方を習得しやすい利点がある．今日でもこれらの事情は変わっていない．

自然言語のように，どのような用途にも使える汎用プログラミング言語はないのかといえば，現時点では C 言語が最も汎用性に優れているが，それでも得意・不得意の分野はある．

（3）手続き型プログラミング言語（procedural programming language）

処理すべき手順を，命令文を並べる形で記述するプログラミング言語を手続き型言語，それ以外の言語を非手続き型言語と呼んでいる．BASIC，C，Fortran，COBOL は手続き型プログラミング言語である．手続き型の言語による処理手順は，ノイマン型のコンピュータの動作原理であるプログラム内蔵方式の逐次処理に適しているために，実行効率が高い．すなわち，手続き型のプログラムでは，値を記憶する変数をおき，その変数の値を代入によって書き換えていくので，プログラムは主にどのように代入を行っていくかというデータの再利用と付加（バインディング）の手続きを記述したものになっている．そこで 手続き型言語では，この代入の手続きをするための演算子と手続きを分岐・反復処理するための制御文を必ずもっている．ノイマン型コンピュータの最も得意とすることは，このメモリを利用した代入と分岐，特に反復処理である．

3-11　アルゴリズム（algorithm）とは

アルゴリズム（算法）とは，コンピュータ上で問題を解決するための，明確に定められた，一連の問題処理手順のことである．アルゴリズムは自然言語で記述できるが，それをコンピュータが実行できるように，プログラミン

グ言語を用いて厳密に記述したものがプログラムである．コンピュータはアルゴリズムを自動生成することはできないので，アルゴリズムを創ることは，考えることのできる人間に課せられた仕事である．

（1）アルゴリズムの例

二つの正の整数 x，y の最大公約数を求めるユークリッドの互除法（Euclid's algorithm）のアルゴリズムは次のようになる．

1）x を y で割ったときの余りを求め，z に代入する．

2）z が 0 ならば，y が求める最大公約数である．もし z が 0 でなければ，次のステップ 3）へ進む．

3）y の値を x に，また z の値を y に代入して，1）へ戻る．

（2）アルゴリズムに対する取組み方

アルゴリズムは次の順序で学んでいけばよい．

1）アルゴリズムの概念と用語を理解する．

計算可能性，停止性，確定性，複雑さ，時間計算量，領域計算量，評価基準，有効性，効率など．

2）アルゴリズムのアイデアと手法を理解する．

コンピュータにはコンピュータに適したアルゴリズムがある．たとえば，連立 1 次方程式をコンピュータで解くには，筆算で使う代入法ではなくて，掃き出し法（消去法）などを使用する（演習問題 3-15）．

3）代表的なアルゴリズムの例題をプログラミングして実行し，1）と 2）を体感する．

4）効率的なアルゴリズムについて研究する．

アルゴリズムの効率化の研究は，コンピュータ資源の有効な利用に直接結びつくのでコンピュータサイエンスの中心課題となっている．

（3）アルゴリズムの基本的な概念と手法

コンピュータのもっとも基本的な機能は計算であるが，コンピュータは計算なら何でもできるかというと実はそうではない．コンピュータで計算できるかどうか，できるとしてどの程度まで計算できるかを調べることをアルゴリズムの**計算可能性**（computability）の問題といっている．

まずアルゴリズムの存在しない問題があり，計算不可能な問題が存在する．さらに，一つの問題にアルゴリズムは一つとは限らず，複数存在するのが普通であり，それらは**計算量**（computational complexity）が異なる．アルゴリズムの評価基準として効率を考えると，時間計算量（計算実行時間）と領域計算量（メモリ占有量）の二つの尺度があるが，一般には時間計算量を優先させる．コンピュータのアルゴリズムは，有限の時間内に停止して論理的に正しい結果を出すものでなければならないが，たとえ有限の時間であっても，スーパーコンピュータを使っても，莫大な時間がかかって実用にならない場合もある．たとえば，時間計算量が入力サイズに対して指数関数的に増加するような場合で，これを難しい問題といっている．これに対して，計算量が多項式のオーダーで解ける問題を易しい問題と呼んでいる．

アルゴリズムの代表的な手法に，**分割統治法**（divide-and-conquer method）がある．この基本的なアイディアは，“困難を分割せよ”である．すなわち，与えられた問題をまずいくつかの規模のより小さな問題に分割して，その分割された問題を個別に解く．次に，これらの解を利用して最初に与えられた問題の解を，多くは再帰的に，求める手法である．

数値計算における**逐次近似法**（successive approximation）のアルゴリズムは一つの近似値が見つかったときそれを使い，それよりももっと精度のよい近似値を見いだす関係式に基づいて，近似を逐次に高めていくように反復して，必要な精度の数値解を求める手法である．この方法では

【コンピュータサイエンスの頻出概念ートレードオフとその結果（trade-offs and consequences）】

トレードオフとは同時には達成できない要因間の受容できるバランスをいう．コンピュータ技術にはトレードオフの関係にある要因が多い．たとえば，

- プログラムのわかりやすさと実行効率
- メモリにおけるスピードと容量（価格）との関係
- 数値計算における計算精度と実行時間
- 画像処理における解像度と処理時間の関係

などである．

- 高速でしかも確実に，必要な精度の近似解が得られるようなアルゴリズムを見出すことが大切である．
- アルゴリズムによっては，ある時間内に繰り返しが収束しなかったり，十分な精度の近似値が得られないことがある．

（4）アルゴリズムの評価基準としてのわかりやすさ

アルゴリズムの評価基準には効率の他にわかりやすさを考えることもできる．多くの場合，わかりやすさと効率はトレードオフの関係にある．そこで

1）効率を犠牲にして，わかりやすさを優先させたアルゴリズム

2）わかりやすさを犠牲にして，効率を優先させたアルゴリズム

のどちらかを選択しなければならないことが起きる．入門教育や入力データサイズが小さく単発のときや，プログラムを自作する場合には，1）を選択する．研究や実用で，入力データサイズが大きく繰り返し使用するときや，アプリケーションを利用する場合には，2）を選べばよい．というのは，個人が高速な CPU と大容量のメモリをもったパソコンを日常的に使えるようになった現在では,アルゴリズム自体の効率を最優先させる必要はなくなったからである．誰もがコンピュータを自由に使えなかった共同利用の汎用機の時代では，実行時間がかかりすぎて他のユーザーに迷惑をかけた，わかりやすいアルゴリズムが，パソコンの時代には個人の日常レベルに限ればじゅうぶん使えるようになったのである．今日のコンピュータ利用で最優先させるべきことは，計算実行時間ではなくて，仕事に取りかかってからデータを解析し，最終的に結果を報告できるようになるまでに要する，トータルの時間を短くすることである．

3-12　データ構造とデータ型

ノイマン型コンピュータは，データをメモリに格納し，それを CPU のレジスタに読み込んで処理する機械である．そのためにはアルゴリズムに加えて，取り扱えるデータの種類と構造，および演算子や命令文などを決めてやらなければ，実際にはプログラムを記述することはできない．そこで，**プログラム＝アルゴリズム＋データ構造**といわれることがある．

プログラミング言語ではデータ構造を表現するために，データ型を定めている．データ型の大きさは，レジスタのビット長の整数倍である．

（1）なぜコンピュータにはデータ型があるのか

（a）現実世界のデータに対応させてデータの取扱いを可能にさせる

現実世界には，整数や実数，文字，ベクトル，行列，表などで表現されるデータがある．コンピュータはこれらの多様なデータをもれなく取り扱えなければならない．

（b）コンピュータの汎用性と効率化を両立させる

現実世界の多様なデータをもれなく扱える汎用性，および実行時間とメモリ占有量の効率を両立させるためには，コンピュータではデータ型を必要とする．コンピュータではデータ型を設けて，計算の高速化を計り，また限られたメモリを最大限有効に使えるようにする．たとえば，整数型はもっとも速く計算できるように設計されている．整数型が要するメモリも，浮動小数点型（実数型）を比べると同じか，1/2 以下である．また，英文字は 1 バイトで表現できるが，漢字は 2 バイトを要する．このようにデータ型の選択はプログラムの高効率化に大きく影響する．

（c）プログラミング言語の表現力を増す

プログラミング言語に現実世界のデータと対応するデータ型があればあるほど，それだけその言語の表現力が豊かになり，より自然なプログラムの記述が可能となり，プログラムの可読性・保守性が増す．たとえばデータとして住所録を扱うとき，氏名・郵便番号・住所・電話番号などの異なった型の複数のデータを組として一括して扱えれば，処理しやすい．このようなデータ型をレコードとか構造体と呼んでいる．また，一組の要素データを自由に参照，挿入，削除できるデータ構造があれば，データ管理が非常に楽である．さらに，長さがあらかじめ決まっていないデータを扱え，必要なメモリが動的に確保できるようなデータ構造であれば，メモリを無駄にすることがない．

（2）いろいろなデータ型

1）整数型：整数を扱えるデータ型であり，扱える整数の範囲はレジスタのビット長により決まっている（図 2-8）．

2）浮動小数点数型：浮動小数点数（実数）を扱えるデータ型である（図 2-9）．

3）文字型：文字を扱えるデータ型．

4）配列：同じデータ型の要素からなる，次元をもった並び．

5）レコード，構造体：異なった型の要素からなるデータの集合．
6）ポインタ：メモリアドレスを扱えるデータ型．

（3）抽象データ型（abstract data type）

データ構造に加えて,それを操作する手続きを一体化したデータ型であるが，その具体的な実現方法は問わないで抽象的に定義したものである．たとえば，リストであれば，配列を用いる方法やポインタを用いる方法で実現できる．

（a）リスト（list）

リストとは，何らかの理由で関係づけられているデータを順番に並べたもので，線形リストや連結リストがある．リストの操作には参照，挿入，削除などがあり，それぞれは関数として実現するが，外部には操作情報のみを与えて，データ型の実現方法の詳細は隠蔽する．このような情報隠蔽をカプセル化と呼んでいる．

（b）スタック（stack）

LIFO（Last-In-First-Out）という操作を必要とするリスト．

（c）キュー（queue：待ち行列）

FIFO（First-In-First-Out：先入れ先出し）という操作を必要とするリスト．

脳の記憶や自然言語による処理では，データ型を意識することはほとんどなく，データ型に代表されるコンピュータ独特のメモリの使い方は，人間にとりたいへん不慣れな概念であり，プログラミングでエラーを起こしやすいのでじゅうぶんな注意が必要である．

3-13　構造化プログラミング（structured programming）

構造化プログラミングとは，トップダウン的に概要設計から始めてプログラム全体を機能で分割し，機能分割された各プログラムを基本単位として段階的詳細化により作成してゆくプログラミング技法である．構造化プログラミングでは，プログラムを基本構造，すなわち**連接構造**，**選択構造**，**反復構造**の三つの組合せで記述する．

(1) 連接構造

処理手順が入口から出口に向かって直線的に流れる構造である．人間の自然言語による脳の情報処理手順はこの連接構造であり，人間には最もわかりやすいプログラム構造である．

(2) 選択構造

ある判定条件に基づいて処理手順を選択し，処理が分岐する構造である．人間が問題を詳細に分析し，あらゆる可能性を考えて分岐条件を厳密に決めてやらなければならないので，プログラムの作成は容易ではないことがある．また，あらかじめ問題を完全に理解してすべての選択分岐を見出すことは通常不可能なことであるので，論理的エラーを起こしやすい．特に，自然言語による表現では多重選択・多重分岐はやらないのが普通であるので，多重になるとプログラムの作成が一段と難しくなり，かつ論理エラーを起こしやすい．

(3) 反復構造

反復条件を満足している間は処理手順を繰り返し，この条件を満足しなくなれば繰り返しを抜け出す構造で，ノイマン型コンピュータの最も得意とする処理手順である．人間が問題を詳細に分析し，正確に反復条件を決めてやらねばならないが，人間の自然言語による表現ではこのような反復構造はないので，論理エラーを起こしやすい．

これらの基本構造の奥にある，自然言語とは異なった，プログラミング言語独特の論理に注意してほしい．さらに，ノイマン型コンピュータではプログラムにこの選択構造と反復構造が書けることにより，はじめて大量データの自動処理が可能となっていることや，微分や積分などの高度の計算能力を発揮できることにも注意を向けてほしい．

なお，構造化プログラミングで go to 文の使用を厳しく制限するのは，自然言語では無条件に勝手な場所に飛ぶような論理はなく，go to 文を多用するとプログラムの構造が不明瞭となり，可読性が極端に悪くなるからである．

構造化プログラミングでは，

1）仕事の内容や手順を整理し，明確にする

2）処理の方法や，全体の流れを視覚的に理解できるようにするためにPAD（Program Analysis Diagram：問題分析図）やフローチャート（flow chart）を用いることが多い（図3-12）．

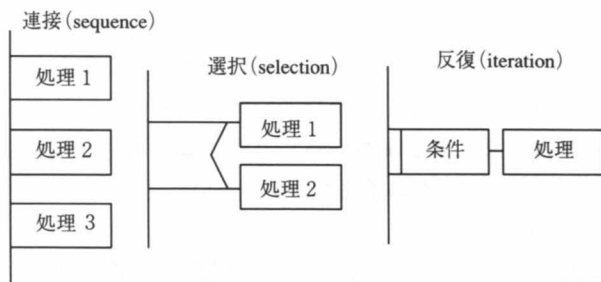
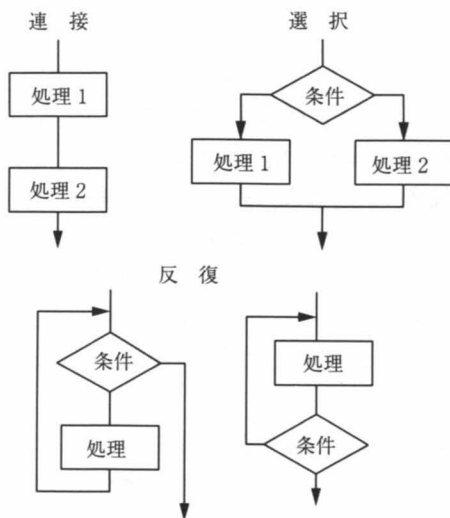



図 3-12　プログラムの基本構造を表現するPADとフローチャート
プログラミングではあいまいな選択分岐や反復は排除されていることに注意する．

（4）モジュール化とモジュラープログラミング

処理機能ごとに単位化したプログラムをモジュール（module）と呼ぶ．手続き（procedure）とか関数（function）と呼ばれるプログラム単位は 一つのモジュールである．よく使うモジュールはひとまとめにしてライブラリ（関数

の集まり）の形にしておけば，多くのユーザーが共用して何度でも再利用できる．大きなプログラムは，その内部は前述の 三 つの基本構造で記述した，相互に独立性の高いモジュールの集合によって作成することにより，プログラム全体を見通しよく構成することができ，プログラムの可読性・保守性が増す．これをモジュラープログラミング（modular programming）という．

モジュラー化していないプログラミングでは1箇所の修正が，他の多くの箇所に波及し，副作用を及ぼして予想外のエラーを引き起こすことがしばしば起きる．このようなことを未然に防ぐためには，相互に独立な関数を用いるモジュラープログラミングの手法が欠かせない．

3-14　どのようなプログラミング言語を学べばよいか

高水準プログラミング言語にはいろいろあるが，まずは手続き型のプログラミング言語を一つ選んで学んでいけばよい．

高水準プログラミング言語を選択する際の基準には次のようなものがある．

1）JIS などで規格が標準化された言語であること

各社まちまちの規格の言語は入門者には適さない．

2）構造化プログラミングが可能な言語

プログラミング言語は構造化プログラミングを自然に可能にさせるものでなければならない．最初に出会った言語が構造化しにくいものであると，悪しきプログラミングスタイルが身についてしまい，それから脱することが困難になることが多い．

3）多様なアルゴリズムを表現できる言語

入門的な数値計算のアルゴリズムはどの言語を使っても記述できる．しかし言語によっては，あるアルゴリズム（たとえば，再帰）をどうしても表現できないか，原理的には可能であっても実用的でないものもある．

4）コンピュータ環境の変化に対応できる汎用性のある言語

現在は昔と比べてコンピュータの利用はきわめて多様になっている．この変化に対応できる言語を選ぶ必要がある．

5）他のプログラミング言語や簡易言語を学ぶことを容易にさせる言語

6）実社会で広く使用されている実用的な言語

7）コンピュータの動作原理の理解を助ける言語

一つでも自分の習熟したプログラミング言語があれば必要に応じて他のプログラミング言語を修得することはさほど困難ではないが，上の選択基準に照らせば最初に知る高水準言語の選択となると，現時点では C 言語が適切であろう．

3-15　C言語（C language）とは

C 言語は，UNIX を記述するため，1972 年リッチー（D.M. Ritchie ）によって創られた言語である．現在は ANSI（American National Standards Institute：米国規格協会，1988）規格仕様のコンパイラが広く用いられているが，この仕様を包含するオブジェクト指向型の C++ と呼ぶ言語の標準化が進行中である．

（1）C 言語の特徴

C 言語は FORTRAN，COBOL，BASIC などと比べると約10年～20年新しい言語であり，先行した高水準プログラミング言語の短所を取り除く努力がなされており，後発のメリットの出た高水準言語となっている．たとえば，ハードウェアの進歩やソフトウェア工学の成果を巧みに取り入れている．C 言語には次のような特徴がある．

1）システム記述に適した，汎用のプログラミング言語である．

基本ソフトやアプリケーションソフトの開発に広く使われている．

2）構造化プログラミングに適した言語である．

プログラムの構造化のために必要十分なデータ型，演算子，制御文が用意されている．また配列，構造体，ポインタを用いてデータ構造を自然に記述することができる．

3）モジュール化が容易である．

プログラムは関数の集合として作られる．

4）演算子が豊富で表記が簡潔であり，プログラムがコンパクトに書ける．

++，--，+=，*=，/=，%=，==，!=，>= などキー入力が少なくて済むように設計されている．

5）言語水準は高いレベルから低いレベルまでを含む．

ハードウェアをきめ細かく操作するアセンブラ的な使い方もできるので，

```
#include <stdio.h>
main()
{
      int i, sum = 0;
      for( i = 1; i <= 10; i++ )
      {
            sum += i*i;
      }
      printf( "Sum=%d ¥n", sum );
}
```

整数の2乗和を求めている for ループの反復構造で，
データの再利用と付加が行われている．

図 3-13 $\sum_{i=1}^{10} i^2$ を求めるC言語のプログラム例

計測・制御用にも使える．

6）ポインタが使えることにより，メモリを直接操作することができる．

7）コンパイラ自身およびプログラムは，高い移植性をもっている．入出力の機能は関数で扱う．

8）可読性，保守性に優れたプログラムが自然に書ける．

小文字ベースの言語であるので読みやすい．

9）関数は再帰呼び出しができる．

10）コンパイラのサイズが比較的小さい．

必要最小限の基本機能がコンパクトにまとめられている．

11）C言語の設計思想が言語の仕様に明確に読みとれる．

（2）C言語が普及した理由

C言語が現在見られるように広く普及した理由には次のようなものがある．

1）ダウンサイジングが進行した結果，コンピュータ市場では汎用機に代わって，WS，パソコンが圧倒的な優位を占めるようになった．WSのOSであるUNIXはC言語で書かれており，WSにはC言語コンパイラが標準で組み込まれていた．そこでソフトウェア技術者にはC言語を理解できることが要求された．

2）C言語の言語仕様が優秀であることが広く認められた．特に，高水準

言語であるC言語でOSを書いても実行上何ら問題がないことが証明された．C言語が汎用性・移植性に富んでいることから，ソフトウェアメーカーでの基本ソフトやアプリケーションの開発においてアセンブリ言語などからC言語への移行が急速に進んだ．

3）UNIXが学術機関には当初手数料のみで提供されたことから，大学・研究所でのWS，C言語の使用が急速に広まった．さらにC言語によるフリーソフトの配布が研究・教育分野でのC言語の普及を加速した．これにより学術分野でもFORTRANからCへの代替が進んだ．

4）C言語のコンパイラは比較的小さく，安価なコンパイラが販売されたので，パソコンではBASICに代わってC言語が急速に普及した．

5）C言語で作成したプログラムは移植性に優れているので，C言語はパソコンからスーパーコンピュータまで広く使われるようになった．

3-16　プログラミングの効果的な学び方

基本的には，子供が母語を覚えるようにプログラミング言語を学び，よい手本を選んで文体を学ぶようにプログラミングスタイルを学ぶべきである．プログラミングは次のような順序で学んでいけばよい．

1）手本となるプログラムを見つける．

多くは教科書の例題であるが，必ずしも手本となるプログラム例ばかりではないことに注意する．教科書のプログラムといえども批判的に読む態度が必要である．

2）手本となるプログラムを理解し解析する．

問題がプログラミング言語でどのように表現されているか，論理とアルゴリズムを理解する．

3）手本となるプログラムを改造する．

プログラムを再利用し，これに必要なものを付加する作業である．

a）プログラムの手順を題意に合うように改める．

b）プログラムの構造化を徹底する．

c）わかりやすいプログラムに直す．

プログラミングの実際では次のことに注意するとよい．

1）設計書を書いておく．

大きなプログラムでは自分の設計思想や設計ノートを書き留めておくことが望ましい．プログラムの中にコメント（注釈）として入れておいてもよい．プログラムの基本的な構成，論理，アルゴリズム，主な関数の機能について設計の考え方を書いておく．プログラムの作成にあたっては，どのような細かい事項（たとえば，変数名の付け方）に対しても，作成者の考え方・思想が貫かれていなければならない．どのようなことでも理由なしに，ただ何となく決めたことがあってはならない．設計思想のないプログラマは成長しないし，思想があっても書き留めておかないと，メモリのないコンピュータと同じで，プログラミングは進歩しない．

2）プログラミング言語の文法について

a）文法を丸暗記する必要はない．

プログラミングは参考書や説明書を見ながら行ってよい．プログラミング言語の学習では文法を詰め込むよりは，なぜそうするのか，意味を考えておけば実地で役にたつ．

b）細かい文法の誤りは，コンパイラが教えてくれるので書き始めは気にしなくてもよい．一度で完璧なプログラムは作れるものではない．

c）文法の暗記よりも大切なことは，言語使用能力の習得，すなわちプログラミング用語の概念を理解し，プログラムの全体の流れが書けることである．特にプログラム言語独特の論理構造が書けなければならない．

3-17　プログラミングの手順とプログラムの高速化の技法

（1）プログラミングの手順

プログラミングしてコンピュータに仕事をさせる全過程は，大きく分けると次の三つの段階から成り立つ．

第 1 段階：プログラミング以前の過程である．問題を発見し，問題をよく理解する．次に問題を詳しく分析して，コンピュータに仕事をさせる手順を検討し，**アルゴリズム**を定める．

第 2 段階：第 1 段階に基づいてプログラミングする．プログラムの**編集**

(edit：エディタによる入力，修正)，**コンパイル**，**リンク** (link)，**実行** (run) の過程である．エラーがあればプログラムを修正する．場合によれば，第1段階まで戻らなければならないこともある．プログラムの修正を終えて，目的とした正しい結果を得るまでがこの段階である．パソコン用のコンパイラでは，通常これら一連の作業が簡単にできるような統合化プログラミング環境となっている．

第3段階：1回だけの実行で終える仕事は少なく，通常は第2段階を終えても，プログラムの改良のための変更や修正などの保守 (maintenance) の仕事が残る．しかもプログラムには完成ということはなく，プログラムは潜在的にエラーを含む，常に成長途上のものである．さらに，できあがったプログラムの説明書などのマニュアルを作成しなければならない．

なお，大きなプログラムになるとこの3段階の仕事を一人で行うことはなく，時間を超えて場所を離れて，多人数で分担するのが通例である．したがって，効率化を目指す場合，第2段階だけでなく，コンピュータに仕事をさせる全過程を問題にしなければならない．

(2) プログラムの高速化の技法

プログラムの効率を計る尺度は，実行時間（時間効率）とメモリ占有量（記憶効率）である．両者は，多くの場合トレードオフの関係にある．プログラムの高速化では，一般にメモリ占有量を増大させても，実行時間の減少を目指す．具体的にはプログラムでは

1) 演算回数を少なくする．
   繰り返しを少なくする．無駄な繰り返しはしない．
2) 速い演算を多くし，遅い演算を少なくする．
   除算，乗算を少なくする．データ型はできるだけ整数型を用いる．繰り返しのブロックを高速化する．選択分岐を少なくする．

ことが目標になる．現在ではこれらのことはコンパイラがある程度自動的にやってくれる．このコンパイラによる実行効率のより高い目的コードの生成を**最適化** (optimization) と呼んでいる．しかし，本格的な効率の改善は，

1) 新しい効率的なアルゴリズムを発見する．
2) すでにあるアルゴリズムを効率的なものに改良する．

ことではじめて実現できる．

3-18　プログラミングにおけるエラー，バグ

一つのプログラムは，**ソース**（source）プログラムをコンパイルして**オブジェクト**（object）プログラムを作成し，さらに関数を引用した場合には他のオブジェクトプログラムと**リンク**（結合）して，最終的に**実行**形式のプログラムとなる．プログラミングエラーはこの三つの過程でそれぞれ生ずるが，これをプログラミングの世界では**バグ**（bug，虫）と呼んでいる．バグを取ることを**デバッグ**（debug，虫取り）という．

コンパイルエラーは，コンパイラがソースプログラムを解釈できない文法的誤りである．コンパイラはプログラムの1点1字の誤りも許さないが，コンパイラがバグを指摘してくれるので，エラーメッセージやヘルプの助けを借りながら，どこをどのように修正すればよいかの判断が自分でできればよい．コンパイルすると最初はたくさんのバグが出て驚くが，2，3箇所訂正すれば大半のエラーは消えるので心配しなくてよい．昔は印刷出力したプログラムリストをにらみながら行う机上デバッグを重視したが，これは今では時間の無駄で，ただちにコンパイラにエラーの指摘を任せた方がデバッグは効率的に行える．

リンク時のバグは，関数の引用で未定義の変数などがあると生ずるが，これもコンパイラが教えてくれるので訂正は比較的容易である．

これに対して実行時のエラーは，プログラムの論理上のバグであるので，デバッグはきわめてやっかいなことが多い．作成者が予想したことと異なった結果や，まったく予想外の考えもしなかった結果を生じたエラーであるので，デバッガ（デバッグするツール）などを使用して実行の様子を追跡してエラーの原因を探索したりする．さらには処理手順そのものを再検討して，ソースプログラムを修正しなければならない場合もある．

コンピュータによる処理では二つの種類の実行エラーが生じるが（第1章1-6），ここでもう一度，このエラーの問題をプログラミングの実際に即して考える．すなわち，プログラムの実行時のエラーには次の二つのタイプがある．

1）第1種のエラー

プログラムに書いたことによるエラーである．プログラムが論理的に間違っていたことが実行時のエラーを引き起こした場合である．

2）第2種のエラー

プログラムに書かないことによるエラーである．書かれたプログラム自体には論理的に間違いはないが，コンピュータがプログラムに書いていない状況に遭遇して，状況に全く対応できないことによるエラーである．

たとえば，2次方程式 $ax^2+bx^2+cx=0$ の解を求めるプログラムを作成する場合，解を求める公式を間違って書けば，第1種のエラーを引き起こす．次に，解を求める公式を正しく書けば，第1種のエラーを防ぐことができ，これでプログラムは完成したと考えるかもしれない．しかし，$a=0$ の処理をしていないプログラムでは，$a=0$ のデータを入力すると0で除算するという第2種のエラーを引き起こす．この例だけの場合はたいしたエラーではないが，大きなプログラムでは一つのプログラムエラーが，場合によっては，システムに致命的なトラブルを引き起こすことがある．コンピュータの実際の利用では，プログラマのまったく意図しないことがしばしば起きるので，第2種のエラーの発生は避けられない．

このようなエラーがなぜ生ずるかといえば，現在のノイマン型コンピュータでは実行手順をあらかじめプログラムとして例外的な処理を含めてすべてを細大漏らさず逐次指定しておかねばならないが，複雑な問題のプログラミングで，このような緻密な作業を完全にやり遂げることは一般に人間には非常に難しいからである．すなわち，プログラムの書き間違いや書き落としによる実行時のエラーは，システムエンジニアの専門的知識や実務経験の不足のため問題の分析が不十分であることに，またプログラマのプログラミングでの不注意に起因していることは確かだが，神ならぬ人間に問題全体をあらかじめ完全に理解した上で完璧なプログラミングをつねに求めることは，しょせん無理な注文というものである．コンピュータのトラブルが生じると，原因は人為的なプログラムミスであり，入念なチェックをすれば防げたはずといわれるが，巨大で複雑なプログラムとなると，ことは人間の特性に関わることなので，それほど単純ではない．

演習問題3

3-1 “コンピュータ，ソフトがなければただの箱”とは，どのようなことを意味しているか.

3-2 GUI OS の利点と欠点は何か.

3-3 エディタとワープロソフトの違いは何か．どのように使い分ければよいか.

3-4 ワープロ専用機の特徴と限界を述べよ．アメリカではワープロ専用機はないという．なぜ日本ではワープロ専用機が発達したのか．今後ワープロ専用機はなくなると思うか.

3-5 日本語ワープロと清書機械（和文タイプライタ)，手書きの違いは何か.

3-6 日本語ワープロを誰もが使う時代の日本語能力はどのようなものであればいいと思うか．漢字制限は不要になったといえるか．また，漢字学習の在り方は変わっていくと思うか.

3-7 日本語ワープロの辞書の働きは何か．普通の国語辞書とどこが違うか．なぜユーザーが辞書を育てる必要があるのか.

3-8 かな漢字変換ソフトでは，辞書は“学習する”という．この辞書学習機能とはどのようなものかを調べよ．この“学習”と人間本来の学習との違いを述べよ.

3-9 最近のソフトウェアは巨大化するいっぽうである．なぜソフトが巨大化するか，その理由を考えよ.

3-10 DTP（卓上出版）の長所，短所にはどのようなものがあるか.

3-11 電卓と表計算ソフトの違いを幾つかあげよ.

3-12 コンピュータのファイルと紙のファイルの共通点と相違点は何か.

3-13 素数を求めるアルゴリズムを書け.

3-14 データを大きさの順に並び替えるアルゴリズムを書け.

3-15 次の連立方程式の解を代入法と掃き出し法により求めよ.

$$2x - y + 2z = 2$$
$$x - 2y + 3z = 4$$
$$3x - 4y + 2z = 2$$

コンピュータではなぜ掃き出し法を使うと有利か.

3-16 ユークリッドの互除法のアルゴリズムをフローチャートおよび PAD で表せ.

第 4 章

コンピュータネットワークとは

本章では，コンピュータネットワークやインターネットについて詳しく説明している．コンピュータネットワークとはどういうものか，ネットワークの構築によりどのような新しい機能や可能性が生まれたかについて学んでほしい．さらに，インターネットが提供するいろいろなサービスだけでなく，インターネットの考え方についても理解を深めてもらいたい．

4-1　コンピュータネットワークとは何だろうか

コンピュータネットワークとは，技術的にはいろいろな所に点在する，メーカー，機種，OS，性能の異なる多数のコンピュータ同士を通信回線を介して互いに接続してネットワーク（通信網）を組み，それらのコンピュータの間で自由に通信（communication）が行えるようにしたものである．

コンピュータネットワークの構築により，ユーザーは従来のように計算機センターや端末室に出かけてコンピュータを使用するのではなくて，研究室やオフィス，自宅においたコンピュータと，遠隔地にあるいろいろなコンピュータを自由に分散利用して，必要な情報処理が効率的にできるようになった．

コンピュータネットワークの構築により，われわれは日常的な情報処理において三つの即時性を獲得したことになる．すなわち，

1）コンピュータの記憶機能により，情報を直ちに時間を超えて取り出すことができる．

2）コンピュータの計算機能により，情報を直ちに処理できる．

3）ネットワークの通信機能により，情報を直ちに空間を超えて伝達するこ

とができる．

さらに，従来はコンピュータなどの情報通信機器はいつでもどこでも利用できるとは限らなかったが，携帯化技術や通信技術が進歩してそれが可能となり，いつでもどこでも情報を直ちに処理できるようになってきている．こうしてわれわれは，情報処理における時間と空間という大きな制約を取り除くことに成功を収めつつある．

(1) ネットワーク構築の技術的な目的

1）ネットワークによるコンピュータ資源の安全確保とデータの保全

ネットワークを構築した当初の目的はアメリカの国防上の理由にあったといわれている．すなわち，コンピュータ同士をネットワークで結んでおけば，中心となるコンピュータが万一破壊されたり故障しても，通信経路のマルチパス化により，即座に他のコンピュータを使ってシステムを維持して仕事を代行でき，致命的な損害を防ぐことができるからである．また，ネットワークにより，CPU の負荷を分散させたり，データを多重保管したり分散保管したりすることも容易にできる．

2）コンピュータと通信を融合させることによる新しい通信手段の開発

3）オープンシステム化とマルチベンダー（multivendor）環境によるコンピュータ資源の有効利用

国際標準もしくは業界標準仕様を採用した，異なったメーカー・機種のコンピュータおよび周辺機器の相互接続による性能の向上とハード/ソフトの共同利用による低コスト化をはかる．

4）飛躍的に性能が向上した，多数のパソコンの有効利用

【ダウンサイジング（downsizing）】

これまでの 一 つのメーカーの大型汎用機中心のシステムから，その機能を低下させることなく，メーカーが異なる多数の WS やパソコンなどの小型機をネットワークで結んだシステムに移行すること．高性能，低価格のWS やパソコンの利用により，設備の小型化と費用の大幅な節約が図れるだけでなく，使い勝手が向上し，システムの拡張が柔軟に行えるようになった．

使いやすいパソコンをネットワークで結んでファイルを共有したりして有効に利用する．

5）コンピュータ利用環境の改善

いつでもどこでも多種類の多様なコンピュータを使えるようにする．

（2）ネットワークの種類

（a）LAN（Local Area Network）

LAN は構内（学内，会社内）のさまざまなコンピュータを結んだ比較的中小規模のネットワークのことである．ただし，最近では特に企業内 LAN では大規模化，広域化が進行している．

1）クライアント/サーバー・システム（client/server system）

クライアントとは，ネットワーク上の他のコンピュータからサービスを受ける側のコンピュータ（多くは普通のパソコン）のことである．**サーバー**とはクライアントからの要求を受けて，ネットワーク上の他のコンピュータに対してサービスを提供する側のコンピュータ（WS やパソコン）のことである．

クライアント/サーバー・システムとは，技術的に見れば，多数のクライアントと少数のサーバーが LAN 上で資源を共有して，動作を協調しながら目的のアプリケーションを遂行する分散処理システムである．分散処理ではサーバーごとにメール，ニューズ，WWW などのサービス機能を振り分け，クライアントからの要求に応える仕組みをとっている．パソコンや WS が主体のクライアント/サーバー・システムは，柔軟で拡張性に富んだ，使い勝手のよいシステムを経済的に構築できる特徴がある．

他方，システムを利用する人間の側から見れば，クライアント/サーバー・システムはグループワークの中で人間同士の協調と知的触発，情報共有を促進するシステムである．クライアント/サーバー・システム環境でグループによる共同作業を支援する統合ソフトウェアを**グループウェア**と呼んでいる．

なお，**オンラインシステム**（online system）と呼ばれるものは，大型汎用機をホストコンピュータにして，これに多数の端末を回線接続し，操作は端末側で，実際の処理はホスト側で集中的に行うものである．新幹線や航空機の座席予約システムで用いられている．

2）ピアツーピアシステム（peer to peer system）

パソコン同士を対等に接続した，専用サーバーを設けない，小規模の LAN

である．オフィスや研究室などにおいてパソコン間でのデータの交換，プリンタやハードディスクの共有ができる．

（b）WAN（Wide Area Network）

LAN 同士を専用回線網，公衆回線網などで結んだ広域ネットワークのことである．

（3）ネットワークの構成（トポロジー：topology）

ネットワークは部分的に次のような接続形態で構成される（図 4-1）．

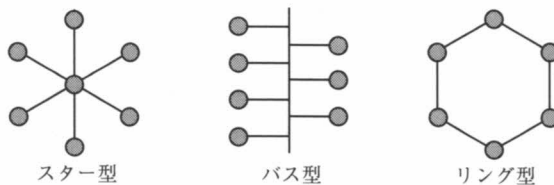



図 4-1　ネットワークトポロジー（接続形態）

1）スター（star）型

2）バス（bus）型

3）リング（ring）型

LAN や WAN の間は相互接続装置（リピータ：repeater，ルーター：router，ブリッジ：bridge，ゲートウェイ：gateway など）で結ばれ，WAN と WAN は NOC（Network Operation Center）で結ばれる（図 4-2）．

4-2　ネットワークのハードウェアとソフトウェア

ネットワーク管理者はネットワークのハードウェア/ソフトウェアについてじゅうぶんな知識が必要であるが，普通のユーザーはネットワークを利用するには，何をどのように接続し，どう使うかの基本的なことを知っておくだけでよい．

（1）ネットワークのハードウェア

（a）イーサネット（Ethernet）

イーサネット（Ethernet）は，1980 年 DEC，Intel，Xerox 社の共同開発によ

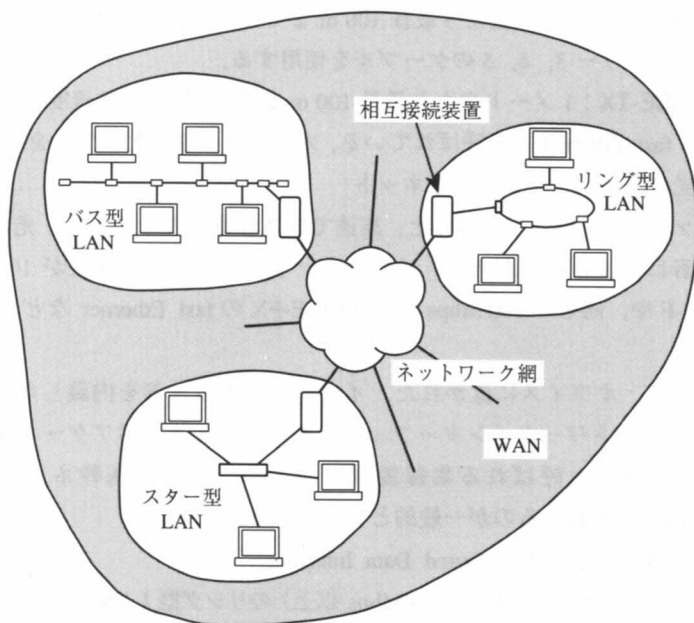



図 4-2　LAN と WAN のネットワーク

る，後に IEEE 802.3 として標準化された LAN の規格で，現在最も普及しているネットワーク・ハードウェアである．物理的な配線は銅線やガラスあるいはプラスチックを使った光ファイバによる．

1）銅線によるイーサネット

同軸ケーブルを用いるものは，シールドされているので，雑音に強く丈夫である．最大伝送速度は 10 Mbps である．

10BASE-5：1 ノード当たり最長 500 m までで，直径 10 mm の太いイエロー・ケーブルと呼ばれる同軸ケーブルを用いるので，thick Ethernet とも呼ばれている．

10BASE-2：1 ノード当たり最長 200 m までで，直径 5 mm の細い芯の同軸ケーブルを用いるので，thin Ethernet とも呼ばれている．

UTP（Unshielded Twisted Pair：シールドなし撚り対線）ケーブルを用いるものは，軽くてしなやかである．ケーブルの品質により，カテゴリー 3，4，5 に分けられている．

10BASE-T：1ノード当たり最長100 mまでで，最大伝送速度は10 Mbpsである．カテゴリー3，4，5のケーブルを使用する．

100BASE-TX：1ノード当たり最長100 mまでで，最大伝送速度は100 Mbpsであり，fast Ethernetとも呼ばれている．カテゴリー5のケーブルを使用する．

2）光ファイバによるイーサネット

光ファイバは，銅線と比べると，高速で伝送容量が大きくとれ，光を用いるので雑音にも強い特徴がある．イーサネットには最大伝送速度が10 Mbpsの10BASE-Fや，同じく100 Mbpsの100BASE-FXのfast Ethernetなどがある．

現在では，オフィスに置かれた，イーサネットボードを内蔵したパソコンやWSのネットワークインターフェースから，ツイストペアケーブルを使ってハブ（hub）と呼ばれる集線装置に接続し，ハブを基幹ネットワーク（backbone）に接続するのが一般的となっている．

（b）FDDI（Fiber Distributed Data Interface）

光ファイバを用いた，高速（100 Mbps以上）のリング型LANの規格で，ANSIで標準化されている．たとえば，大学のキャンパス・ネットワークでは，学科などの部局単位のLANを束ねる基幹ネットワークとして用いられている（図4-3）．

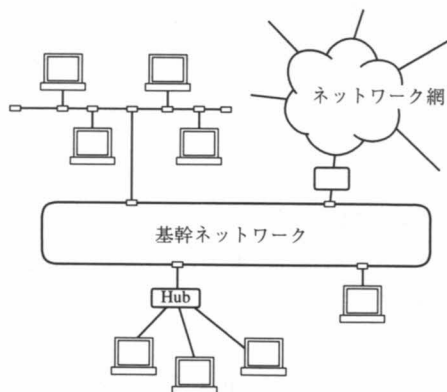



図4-3　基幹ネットワークとハブ

LANとLANとの間の接続には，次のような通信回線を用いる．

1）専用回線

会社や大学などの特定の大口ユーザーがNTTなどの電気通信事業者から借りる専用のディジタル通信回線である．

2）公衆網電話回線

不特定多数の一般のユーザーが電話で使用しているアナログの通信回線をディジタルデータの伝送に利用するものである．

3）ISDN（Integrated Services Digital Network：総合ディジタル通信サービス網）

総合ディジタル通信サービス網は，電話，FAX，データ通信などの各種サービスを統合化して一つの通信回線で提供するもので，現在二種類のISDNがある．

i）N-ISDN（Narrowband-ISDN）

狭帯域ISDNで，伝送速度は64 Kbps～1.5 Mbpsである．INSネット64というのはNTTによる64 KbpsのN-ISDNサービスであり，家庭でも使うことができる．

ii）B-ISDN（Broadband-ISDN）

広帯域ISDNで，伝送速度は100 Mbps以上である．

今後は数百Mbpsの伝送速度をもったB-ISDNがATM（Asynchronous Transfer Mode：非同期転送モード）スイッチング技術とともに普及するものとみられる．B-ISDNやATMは，インターネットで音声や静止画，動画などのマルチメディア情報をストレスを感じることなく伝送するために普及が期待されている通信技術である．

（c）データ転送方式

データの転送方式には，主としてパソコン通信などで使われている電話回線を用いた**回線交換方式**と，インターネットなどで使われている**パケット交換方式**がある（図4-4）．パケット交換方式では，情報はパケット（packet：小包）やセル（cell）と呼ばれる小さな単位に分解して送信し，受信したら元のように組み立てる．

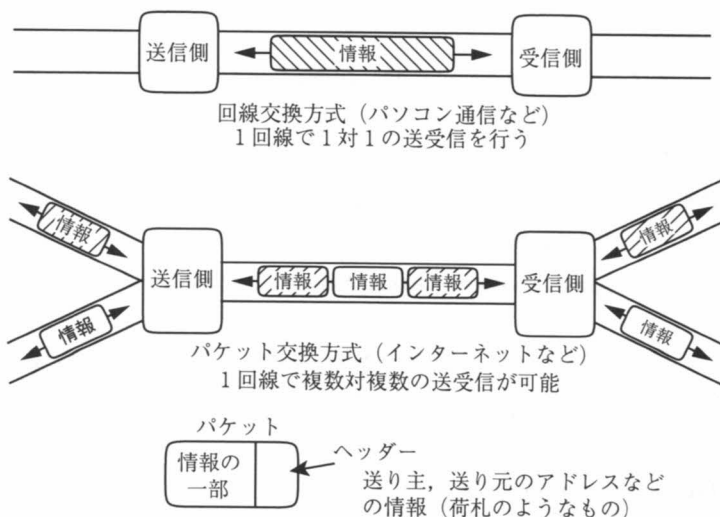



図 4-4　データ転送の回線交換方式とパケット交換方式

（2）ネットワークのソフトウェア

（a）プロトコル（protocol：通信規約）

情報のやり取りは，プロトコルと呼ばれる情報交換のための規約にしたがって行われる．現在，ネットワークプロトコルには次のようなものがある．

1）TCP/IP（ティーシーピーアイピー：Transmission Control Protocol/Internet Protocol）

TCP/IP は，パケット交換の方法などを規定している，LAN インターネットの標準プロトコル体系で，各種の通信プロトコルの中で最も重要なものである．TCP/IP は，BSD UNIX の 4.2 版から標準で組み込まれ，その後の WS とネットワークの普及により，インターネットの事実上の標準プロトコルの地位を確立した．TCP/IP が普及した理由として，特定のメーカーに依存しない，ユーザー中心のオープンなプロトコルであることがあげられる．TCP/IP の規格の詳細は RFC（Request For Comments）と呼ばれる一連のレポートに記述されており，インターネット上で公開されていて，誰でも無料で入手できる．

2）IPX/SPX（Internetwork Packet eXchange/Sequential Packet eXchange）

Novell 社のネットワーク専用 OS である NetWare 用のプロトコルである．

3）**NetBEUI**（ネットブーイ：NetBIOS Extended User Interface）

当初 IBM 社のパソコン用として開発された NetBIOS を拡張したもので，Windows 95 や Windows NT で使用されている．

4）**AppleTalk**

Apple 社マッキントッシュ専用の LocalTalk ネットワーク用のプロトコルで，速度がやや遅い（230 Kbps）が，安価に LAN を構築できる．

インターネットでは TCP/IP が標準となっているが，現在のネットワーク用のインターフェースや OS（パソコンでは Windows 95, Windows NT, Mac OS など）は，これら複数のプロトコルを扱うことができるようになっており，これをマルチプロトコル対応と呼んでいる．

（b）情報圧縮技術

ネットワーク上でやり取りされる情報は，文字だけでなく，音声，静止画，動画などますます大容量化し，伝送の高速化が要求されるため，データを高度に圧縮して送受信する必要性が高まっている．圧縮伸張技術（コーデック，CODEC：Compress/Decompress）には，品質の劣化のない可逆符号化方式や，品質はやや劣化するものの速度の速い非可逆符号化方式が開発されている．静止画，動画の符号化方式には次のようなものがあるが，ファイルを作成し保存するときには，保存形式に注意しなければならない．

1）**JPEG**（ジェイペグ：Joint Photographic Experts Group）

カラー静止画像の圧縮・伸張方式の国際標準である．

2）**Motion JPEG**

動画の各フレームの圧縮・伸張に JPEG を応用したもので，MPEG と比べると編集が容易である．

3）**MPEG**（エムペグ：Moving Picture Experts Group）

動画・音声の圧縮・伸張の国際標準で，専用のインターフェースを用いて高速化し，品質の良い動画や音声の伝送を目指している．

MPEG-1：転送速度として1.5 Mbps 程度が必要である．

MPEG-2：高画質であるが，転送速度として 4～15 Mbps 程度が必要である．

MPEG-4：移動体通信などで利用するもので，転送速度は数 Kbps でよい．

4-3　インターネット（Internet）とは何だろうか

インターネットは，広義には，TCP/IP プロトコルによって相互接続された IP インターネットおよびそれに相互接続されたパソコン通信などのネットワークを含む，世界中に散在する無数の LAN，WAN が結合した，全地球規模のネットワークのネットワークである．多数の学術ネットワークや商用ネットワークが相互に結ばれており，オープンな（閉じていない）ネットワークである．英語では Internet と書く習慣になっている．

インターネットに接続されているコンピュータは，それぞれ固有のアドレス（IP アドレス：Internet Protocol address）をもち，インターネット上のすべてのコンピュータと相互にデータのやり取りができる．したがってユーザーは，いったんインターネットに接続さえすれば，インターネットはオープンであるのでネットワークの種類や国境の制限を気にすることなく，どこまでも入っていって，自由に必要な情報にアクセスできる．

IP アドレスは，ネットワークアドレスとも呼ばれ，TCP/IP に従ってネットワークに接続されているすべてのコンピュータやプリンタに割り当てられている，インターネット上の全世界で一意の識別子である．LAN を運営している組織は，アドレスが重複しないように，NIC（Network Information Center：ネットワーク情報センター，日本では JPNIC）に申請して固有の IP アドレスの交付を受ける必要がある．さらに LAN の構成員はそのネットワーク管理者から自分のコンピュータ専用の IP アドレスをもらう仕組みになっている．アドレスは現在 32 ビットで定義され（IPv4），通常 8 ビット（オクテット：octet）ごとに 0～255 の 10 進数でピリオドで区切って表現する．この数字列では覚えにくく，変更されることもあるので，通常は**ドメイン名**（domain name）によってコンピュータを識別できるようにしている．ドメイン名は電子メールの宛名などに利用されている．32 ビットの IP アドレスではインターネットへの接続機器の急激な増加に対処できないので，将来は 128 ビットを使う方式（IPv6）が決まっている．

IP アドレスの例：130. 69. 240. 41

（東京大学大型計算機センターの UNIX 機．対応するホスト名は m-unix. cc. u-tokyo. ac. jp. ドメイン名は cc. u-tokyo. ac. jp である）

（1）ネットワーク/インターネットの歴史（米国）

ここでは，各ネットワークが設立された意味や，それらが果たした歴史的役割だけを知っていてほしい．コンピュータネットワークは，米国でまず軍事的研究実験ネットワークから出発し，次いで学術研究用ネットワークからインターネットが構築され，さらに商用インターネットが運用され，パソコン通信などを含めた，広義のインターネットにまで発展してきた．これにより，ユーザーは，研究者からビジネスマン，さらには学生や主婦などの普通の市民にまで拡がってゆく．

1969年～1983年 ARPANET（Advanced Research Projects Agency NETwork）

米国防総省が中心になって構築した実験的ネットワークで，異機種間の通信やハード，ソフトの共有をめざした．パケット交換方式によるデータ転送の有効性を実証し，TCP/IP技術を開発した．

1979年～ Usenet（the User's network）

UNIXハッカーの大学院生が，公的資金の援助を受けることなく，自分たちで作り上げた，草の根ネットワークである．当初はUNIX機同士を一定時間ごとに電話回線に接続してファイル転送するUUCP（UNIX to UNIX CoPy）機能を用いて運用された．今日のインターネットにおける情報共有や助けあいの精神はUsenetユーザーがこのときから形成しはじめたものといわれている．

1981年～1991年 CSNET（Computer Science NETwork）

ARPANETに参加していないコンピュータサイエンスの研究者を中心とした，米国内の大学間ネットワークである．

1981年～ BITNET（Because It's Time NETwork）

米国の大学のIBM系の汎用機を用いたコンピュータセンターを結ぶネットワークとして発足した．現在では日本を含む50カ国あまりの学術研究機関を接続した，電子メール，ファイル転送などの情報交換サービスを提供する，非営利ネットワークである．IBM社のNJEプロトコルを使用しているため，成長を続けるTCP/IPを用いたIPインターネットと比べて，現在では劣勢となっている．

1983年～1990年 ARPA Internet

ARPANETから米軍用のMILnet（MILitary network）が分離されて，残ったARPANETが学術研究用に存続し，プロトコルとしてTCP/IPを正式に採用した．これがIPインターネットへと成長していく契機となった．

1986年〜1995年 NSFNET（National Science Foundation NETwork：全米科学財団ネットワーク）

全米科学財団により運営された，初めは全米の学術用スーパーコンピュータセンターを相互接続するネットワークであったが，1990年にARPA Internetを引き継いだ，学術研究用高速基幹ネットワークとなった．

1991年〜 NREN（National Research and Education Network：全米研究教育ネットワーク）

NSFNETは高等学術研究機関を対象としたネットワークであったが，NRENでは初等・中等教育機関や短大，公共図書館などをも対象としたネットワークである．これにより，学校教育や社会教育におけるインターネットの利用が急速に拡大した．

（2）学術研究用ネットワーク（日本）

日本では最初は学術研究用ネットワークとして出発し，米国のネットワークとも結合されて，インターネットへと発展していった．

（a）JUNET（Japan University/UNIX Network，1984年〜1994年）

日本で最初の研究実験的ネットワークである．UNIXユーザーの間で，当初はUUCP接続でボランティアにより運用されてきたが，1994年発展的に組織を解散した．

【ハッカーとUNIX文化，インターネットの展開】

ハッカー（hacker）とは，本来はコンピュータやネットワークが好きで好きでたまらない，技術に熟達したパワーユーザーのことを指すが，マスコミではネットワークに不法に侵入した犯罪を犯す危険なユーザー（クラッカー：cracker）の意味で使っていることが多い．UNIXのフリーウェアの多くは若いハッカーの作成したものであり，アメリカでも日本でもインターネットの構築にハッカーの果たした役割は非常に大きなものがあると言われている．実際どこの大学のネットワークも若いハッカー的ボランティアが運営の中心になっている．いつの時代でも若い世代が新しい文化を創り出しているが，コンピュータの世界でも例外ではない．

（b）HEPnet-J（High Energy Physics network- Japan，1984年～）

高エネルギー物理学分野での世界規模のネットワークであるHEPnetを構成する日本でのネットワークで，高エネルギー加速器研究機構が運営している．特定の学術研究分野でのインターネット利用の一つのモデルネットワークとなっている．

（c）WIDE Internet（Widely Integrated Distributed Environments Internet, 1988年～）

大学，研究機関，企業の若手研究者が主体の，広域ネットワークの研究プロジェクトであるWIDEが運用しているインターネットである．日本で初めて，プロトコルとしてTCP/IPを採用し，また学術ネットワークでありながら商用インターネットと接続するなど，日本でのインターネットの技術開発やネットワークの在り方を先導するネットワークである．

（d）TAINS（Tohoku University All-purpose, All-round, Advanced Information Network System：東北大学総合情報ネットワーク，1988年～）

仙台市街地に点在する五つのキャンパスを相互にTCP/IP接続する，国内有数の学内LANである．1995年にはATM方式により最高622 Mbpsのデータ伝送が可能な超高速キャンパスネットワークSuperTAINSの運用を開始している．

（e）JAIN（Japan Academic Inter-university Network，1989年～）

JAINは学術ネットワークの基礎となる技術を研究開発するための実験的大学間ネットワークであったが，1993年にその歴史的使命を終え，各地域学術ネットワークへ移行した．

（f）SINET（Science Information NETwork：学術情報センターネットワーク，1992年～）

文部省所轄の学術情報センター（NACSIS）が運用している学術研究用ネットワークで，各種学術データベースの情報検索や電子メールなどのサービスを提供している．現在ではパソコン通信とも接続されていて，メールの送受信が相互にできる．

（g）TRAIN（Tokyo Regional Academic Inter-Network：東京地域アカデミックネットワーク，1994年～）

関東甲信越地方の大学などの研究・教育機関のLANを相互接続する学術ネットワークである．このような地域学術ネットワークは，他に東北地方にTOPIC（Tohoku OPen Internet Community，東北学術研究インターネット）など，全

国を数ブロックに分けて構築されている．

（3）商用ネットワーク：商用インターネット，商用パソコン通信

学術研究用ネットワークは，その利用規定（AUP，Acceptable Use Policy）により，あくまで非営利の学術研究や教育を目的とする利用に限定され，ビジネスに利用することはできないし，研究者以外の一般の人が利用することもできない．IP インターネットのビジネスにおける利用や一般の利用を目的に，ネットワークプロバイダと呼ばれる会社が商用のネットワークを運用し，インターネットに接続するサービスを行っている．ただし，商用インターネットと学術研究用インターネットは相互に TCP/IP 接続されているので，自由に情報交換できる．

商用のネットワークには，他に VAN（Value Added Network：付加価値通信網）と呼ばれるパソコン通信ネットワークが，IP インターネットが商用に普及する以前からあり，電子メールや電子会議室，データベースなどのインターネットと類似したサービスを行っていた．現在では商用のパソコン通信も IP インターネットと接続されていて広義のインターネットを構成しているので，パソコン通信ユーザーもインターネット本来の各種サービスを利用できるようになっている．

日本で利用できる主要な商用パソコン通信ネットワークには，NiftyServe，BIGLOBE，People，ASAHI ネット，AOL（America OnLine），CompuServe などがある．このほかに，地方自治体などが設立した地域 VAN のパソコン通信ネットワークもある．

（4）ボランティアによるパソコン通信ネットワーク

いわゆる草の根 BBS（Bulletin Bord System：電子掲示板）といわれるもので，個人や団体がボランティアで運営している，公衆電話回線を利用したパソコン通信である．全国で 2000 局以上あるといわれている．

4-4　パソコン通信とインターネットはどこが違うのだろうか

現在ではパソコン通信も IP インターネットに接続され，広義のインターネットを構成しているが，パソコン通信と IP インターネットではネットワークの

システムや考え方に大きな違いがある．パソコン通信は，

1）中央にある，サービスを提供するホストコンピュータと多数の分散して存在する，サービスを受けるパソコン端末から構成される中央集権型のネットワークである．

2）ホストコンピュータがあらかじめ規定されたサービスを集中的に処理するシステムであって，ユーザーのパソコンと協調して分散処理するものではない．ユーザーはパソコンを公衆電話回線を介して中央のコンピュータに接続し，センターが提供する電子メール，電子掲示板，データベースなどのサービスを一方的に受けるだけである．

3）管理する側（通信事業者）と管理される側（ユーザー）が明確に分離されていて，対等な関係ではない．

これに対して，IP インターネットは

1）自律分散的なネットワークである．インターネットは各サイト（site：学校，企業，グループなどの単位）ごとに運用され，NIC による IP アドレスの管理以外に特にインターネット全体を一元的に管理運営する事業主体は，世界中を探してもどこにもない．さまざまな規模のネットワーク同士が対等に自律的に結合され，それぞれのネットワークは自己の責任の範囲内でシステムを運用しているだけである．

2）オープンで自由なネットワークである．インターネットに参加したい LAN は，所定の手続きを踏み，TCP/IP 接続すれば，ただちに世界につながるインターネットの一員になれる．また，インターネットの規格は RFC（Request For Comments）文書として提案され，標準規格が定まる過程はオープンである．

3）インターネット上のどこにあるコンピュータも基本的に対等である．ホストコンピュータと端末という関係ではない．

4-5　インターネットで何ができるだろうか

人間の知的活動の空間的・時間的拡大により，コミュニケーションや共同作業の重要性が飛躍的に高まった．インターネットは，ネットワークを介して情報と情報を，個人と個人を，グループとグループを対等に，双方向的に結び付ける．こうしてコンピュータは，インターネットの構築により，自己を

表現する，コミュニケーションをはかる，共同作業を支援する能力を強力に拡大することになった．

（1）インターネットの特徴

新しい表現手段，コミュニケーションメディアであり，共同作業の新しい物理的基盤（インフラストラクチャ：infrastructure）である．

インターネットには，提供する情報サービスに，コミニュケーションシステムとして，利用するユーザーから見て，次のような特徴がある．

1）情報を全地球規模で交換し共有できる，さまざまな効率的でオープンかつ自由なサービスがある．そこでインターネットは全地球規模の分散型データベースとみなすこともできる．

2）インターネット上の情報は，互いにリンク（link：結合）された，ディジタルなマルチメディア情報であり，検索と再利用，加工がきわめて容易である．

3）空間と時間の制約を受けないコミニュケーションシステムである．全地球規模でありながら，情報の発信と受信に，場所を選ばない/とらない，時間を選ばない/とらない，年中無休のシステムである．

4）発信と受信の双方向性をもち，同時的に対話のできるコミニュケーションシステムである．この点が既存の新聞やテレビなどのマスメディアと異なる．

5）通信と放送という二面性を備えたメディアである．一対一，一対多，多対一，多対多のいずれのコミニュケーションも可能である．

6）大量の情報発信と情報の速報性，情報更新の即応性が両立し，しかも受信した情報の確認と保存に優れたメディアである．

7）他のメディアや情報サービスと比べて，運用費や利用料，送料が安く，低コストのシステムである．

8）コンピュータの機種やOSには依存しないシステムである．

9）個人やグループが自己の責任で情報の直接的な編集権，発言権，配布権を日常的にもつことができるコミニュケーションシステムである．

10）参加が容易で，すべての参加者は基本的に対等なコミニュケーションシステムである．人種，年齢，性，肩書きに関係なく，世界中の人々と知識と経験を交流し共有できる．

（2）インターネットの特徴をどのように活かせるだろうか

1）ごく普通の個人が地方から全世界を相手に影響力の大きな活動を展開できる．たとえば，マスメディアに頼らず，個人が自己の責任で自由に自分の考えや作品を全世界の人々に直接発表し配布することができる．このようなコミュニケーション手段を一人ひとりの人間がもち得たのは歴史上初めてのことで，その意義はきわめて大きいものがある．

2）いろいろな組織（大学，企業，自治体など）が広報活動の強力な手段として使える．常に最新情報を伝えることができるし，必要な情報を大量に保存しておくことができる．

3）CSCW（Computer Supported Cooperative Work：コンピュータ支援による共同作業）が効率的にできる．在宅勤務や海外との共同作業も可能となるので，共同作業者間では 24 時間まるまる仕事ができる．いまや学術研究や企業の国際的活動ではインターネットは必須の情報基盤となっている．

4）ボランティア活動において国際協力の手段として使える．たとえば，NGO/NPO（Non-Government Organization/Non-Profit Organization：非政府組織/非営利組織）運動においても，全地球的規模で情報交換・情報共有ができる．

5）既存の枠組みを超えて知的活動の機会と情報を得ることができ，多様な文化や価値観に触れ，知的触発を受けることができる．たとえば，世界中の電子図書館を利用して資料を収集できる．また，個人が 1 次情報（原資料のフルテキスト）を必要なときにはいつでも自由に，瞬時に直接取得することができ，それに基づいて既存のマスメディアの介在なしに自分で判断できる．

6）CSCL（Computer-Supported Cooperative Learning：コンピュータに支援された共同学習）が可能となる．在宅教育，生涯教育，遠隔授業に使える．

7）障碍者や高齢者の自立を支援し社会参加を推進することに利用できる．

8）インターネットは，自由，公正，助け合いの，誰もが参加できる，開かれた民主的な社会の建設を強力に支援する物理的基盤となり得るポテンシャルをもっている．

（3）インターネット上で利用できるサービス

インターネット上で利用できるサービスにはいろいろあるが，基本的にはコンピュータと通信・放送のディジタル化を融合させることにより生まれたサービスである．

(a) 電子メール (e-mail, electronic mail)

ネットワークに接続されたコンピュータを用いて，メールアドレスを有するユーザーが，主として文字情報（テキスト）を手紙（メール）の形で送受信するサービスである．パソコン通信の電子メールサービスとの相互乗り入れもできるようになっている．

(b) WWW (World Wide Web)

WWW とは，関連する情報を即座に相互参照できるように，情報同士をリンクさせたハイパーテキスト（hypertext）形式の，ホームページと呼ばれるデータベースを作成して，インターネット上で情報提供できるサービスである．このシステムは 1989 年にスイスにあるヨーロッパ素粒子物理学研究所（CERN：セルン）で開発されたものであるが，ユーザーが世界中に広がったインターネット上でクモの巣（web）を張り巡らすように結合された情報網にアクセスできることから WWW という名が付けられた．この WWW サービスの特徴は，各ユーザーがきわめて簡単にマルチメディア情報を全世界に公開できること，リンクが張れることにより必要な情報を容易に全地球規模で求めることができることである．

WWW のサービスを利用するには,Netscape Navigator（Netscape Communications

【URL（Uniform Resource Locator：ユー・アール・エル/アール）】

WWW でインターネットに接続したコンピュータの場所や取り扱うサービスの種類などを統一的に示す規格で，情報資源を特定するために使用する．URL は一般に，プロトコル名://サーバー名/ファイル名の形をしており，プロトコル名は http, ftp, telnet などのサービスの種類を，サーバー名はサービスを提供する組織を，ファイル名は情報を納めたファイルをパスを含めて表す．たとえば，日本の首相官邸のホームページの URL

http://www.kantei.go.jp/

は，インターネット上の kantei.go.jp という組織に所属する WWW サーバー内のトップページのファイルを HTTP（HyperText Transfer Protocol）により要求するということを表している．HTTP とは WWW で使用されている通信プロトコルで，WWW のクライアントが WWW サーバーと HTML 文書の通信をする際に使用する．

社)，Internet Explorer（Microsoft 社)，Mosaic（NCSA：National Center for Supercomputing Applications)，HotJava（Sun Microsystems 社）などのブラウザ（browser，閲覧ソフト）が必要である．

なお，最近の WWW の機能は大幅に強化・拡張される傾向にあり，WWW はたんなる情報提供サービスにとどまらず，インターネット上の各種のサービス（電子メール，FTP，ネットニューズなど）を統合化する機能をもっている．

（c）ネットニューズ（netnews)，電子会議室

インターネット上に作られた，誰もが参加できるオープンな，分野ごとに分かれた情報交換・議論の場をニューズグループ（newsgroup）といい，そこに流れる情報およびサービスをネットニューズ（netnews）あるいは電子会議室と呼ぶ．パソコン通信での電子掲示板（BBS）のインターネット版と考えてよいが，いずれのニューズグループも参加者の自主的な活動により管理・運営されている点がパソコン通信の BBS と異なる．ネットニューズを購読するためにはサイトにニューズサーバーを必要とし，ニューズリーダーというソフトで読み書きする．ネットニューズでは誰でも自由に自分の関心のある分野のニューズグループを選んで，記事を読んだり，投稿（ポスト）したりすることができる．誰もが質問者になったり回答者になったりするオンライン相談も盛んである．それによって最新の情報を手に入れたり，新しい考え方を知ることができる．

ニューズグループは非常にたくさんあるが，学術分野に限ってもコンピュータに関しては comp という，生命科学には bionet というニューズグループがある．fj というのは，主として日本語を用いた，日本から（from Japan）の全世界行きのニューズグループ群であり，fj の下にさらに分野別に多数のサブグループ群がある．なお，大学内や企業内に限定された，ローカルなニューズグループや電子会議室を作ることもできる．

（d）データベース，電子図書館

図書館や公文書館にわざわざ出向かなくても，どこでも，いつでも，世界中のデータベースから資料を過去にさかのぼって検索できる．また保存の面から利用が厳しく制限されていた貴重書などの資料が電子化により誰でもどこからでも利用できる．電子辞書・百科事典，学術データベース，新聞・雑誌記事データベース，特許データベースなどがある．

(e) ファイル転送

FTP（エフティーピー：File Transfer Protocol）

ネットワークに接続されたコンピュータからコンピュータへファイルを転送（コピー）する機能やサービスである．ファイルを提供するサーバーをFTPサーバーという．FTPサーバーには，誰でも自由に無料でファイルを転送できるanonymous（アノニマス：匿名）FTPサーバーと呼ばれるものもあり，そこからさまざまなフリーソフトを入手することができる．

(f) リモートログイン

TELNET（テルネット：TELecommunication NETwork）

TCP/IPプロトコルに従う，リモート用仮想端末ソフトで，遠隔地にあるインターネットに接続されたコンピュータにアクセスしてそのコンピュータを利用する機能である．接続先のコンピュータのユーザーIDとパスワードさえもっていれば，世界中のどこからでも目的のコンピュータを利用することができる．

(g) IRC（Internet Relay Chat）

IRCとは，インターネット上でアクセスしている多数のユーザー（二人以上でも可）が筆談形式で実時間のおしゃべり（chat）をすることのできるサービスである．チャットはIRCサーバー間をリレー（relay）されてユーザーに転送される．

(h) インターネット電話，ビデオ会議，インターキャスト

インターネットを利用した，電話や会議システム，TV，ラジオである．インターキャスト（intercast）とは，インターネットと放送（broadcast）が融合したラジオやＴＶの放送である．インターネットを使えば，誰でもいつでも免許なしで，不特定多数に文字や音声，映像を放送できる．

(i) 電子商取引（EC, Electronic Commerce）

商業取引におけるインターネットの利用には次のようなものがある．ネットワークを利用することにより取引が効率的に行える利点が得られるが，電子認証他のセキュリティの問題など解決すべき課題も多い（第5章5-1参照）．

1）**オンラインショッピング**（仮想店舗，インターネットを利用した通信販売）

インターネットを利用すれば，場所や時間の制約を受けないので，24時間，全世界をマーケットに低コストでビジネスを展開できる．ホームページは不特定多数を対象にした情報公開であるので，潜在的な需要を掘り起こすこと

が期待されている.

2）エレクトロニック・バンキング（electronic banking）

企業（firm）と銀行（bank）との間の取引をネットワークを利用して行うものをファーム・バンキングと呼び，企業と企業との間で物品の受注・発注などの商取引に関わるデータ交換をネットワークを介して行うものをEDI（Electoronic Data Interchange：電子データ交換）と呼んでいる．これに対してホーム・バンキングでは，家庭と銀行との間で残高照会や口座振り込みなどの取引をネットワーク上で行う．いずれのサービスでも電子マネーで決済するシステムの実用化のテストが始まっている．

（j）その他

インターネットを利用すれば，全く新しいサービスやビジネス形態が実現する可能性もある．今は何が可能かのアイデアが試されている時期といえる．

4-6 電子メールとメーリングリストの使い方

（1）電子メールの利点

1）ネットワーク端末か，電話が使えれば，どこからでも，いつでも，どこにでもメールを送受信できる．

2）仕事上の情報交換，あるいは親しい間での個人情報の交換には便利で強力な通信手段である．

3）配達が郵便と比べて格段に速く，遠隔地，特に海外とのメール交換に優れている．

4）メールの管理・保存が簡単であるので送受信したメールの再利用，編

【ディジタル…,電子…,オンライン…,バーチャル…,サイバー…,電脳…】

ディジタルコンピュータおよびネットワーク技術の進歩により可能になった，新しい製品や概念，社会を表す接頭語．指し示す範囲に違いはあるが，似たような意味あいで用いられている．たとえば，ディジタルカメラ，ディジタルスタジオ．電子図書館，電子取引，オンラインショッピング，オンラインマガジン，バーチャルコーポレーション，サイバースペース，電脳生活など．

集，検索が簡単にできる．

5）電話，FAX と異なって同報通信の機能があるので，複数の相手に同時に同一のメールを一度の手間で送ることができる．

6）メーリングリスト（mailing list，ML）を作れば，同報通信の機能を使って手軽な電子会議室的な利用もできる．

7）電話，FAX と異なって，送料が安く，海外でも無料に近い感覚で気軽に送ることができる．

8）電話と異なって，送り手は相手がいなくてもメッセージを残せ，受け手は仕事中に割り込まれることを避けることができる．

9）テキスト形式のメールだけでなく，画像やプログラムなどを書類添付できる．ただし，一通あたりのメールは 50 KB を超えないようにする．

（2）電子メールを使う場合の注意事項

電子メールの書き方・出し方の基本は普通の郵便と大差はないので，電子メール特有の注意事項に限って述べる．

1）友人，同僚，グループの間ではメモを書く要領で送るのが普通である．初めての人や目上の人に出すときには，普通の手紙と同様の形式を踏むとよい．

2）物理的にも心理的にも気軽に出せるところが，便利な点でもあり，恐い点でもある．送信する内容には慎重さを，受信する内容には寛大さを心がけることが必要である．

3）暗号化メールでない，普通の電子メールでは信書の秘密は保障されていない．通常の電子メールには封書や書留の機能はなく，伝送の途中で盗聴・改竄（ざん）される可能性があるから，秘密性の高いものは電子メールで送らない方がよい．郵便葉書を電子的に送っていると考えておかなければならない．

4）宛先はよく確認してから出さなければならない．宛先を間違えて，メールを読まれても苦情はいえない．また宛名は正確に書かないと宛先不明のメールとして返ってくる．来信を利用して返事を出すか，よく出す相手にはニックネーム編集を使うとよい．

5）メールの送受信は常にシステム管理者により管理されており，管理者はユーザーの情報のプライバシーを守る義務がある．

6）メール本文は，簡潔な表現を心がける必要があるが，電報文のような

略語を用いて可読性を損なうようなことはしなくてよい．

7）通信回線の輻輳を引き起こすチェーンメールは厳禁である．

8）個人宛に出すべきメールを同報通信に載せないこと．他人は迷惑する．

（3）メーリングリスト（mailing list：ML）の特徴

インターネットに電子メールを送ることのできる登録メンバーの間で，共通の関心事項について，メールの同報通信の機能を利用して情報の交換や共有，議論，助け合いができる，電子会議室に似たシステムである．メーリングリスト・アドレスへ記事を電子メールの形で送ることにより，登録メンバー全員に対してその内容が配信される．メールサーバーにデータベース機能をもたせることができ，過去の記事が通信記録として保存され，その内容を取り出すことができる．

メーリングリストはニューズグループのように誰でも参加できるわけではなく，登録されたメンバーに限られるクローズドのグループであるが，パソコン通信の電子会議室のように会議管理者（システムオペレータ）が特別な権限をもつことはなく，発言に関するメンバーの権利と義務は対等である．パソコン通信の会議室ではそのパソコン通信に加入しなければ使えないが，メーリングリストでは商用ネットワークからの利用も可能である．加入（subscribe），脱退（unsubscribe）はきわめて簡単である．

4-7　WWW のホームページとは何だろうか

ホームページ（homepage）とは，WWW の HTTP（HyperText Transfer Protocol）サービスを利用する，個人や企業の情報掲示板あるいはデータベースで，ブラウザを用いて閲覧する画面情報のことである．ホームページにアクセスしたときに最初に表示されるページを特にウエルカムページという（図 4-5）．

WWW に自分のホームページをもつことにより，自分が現在行っていることや考えていることを国内のみならず全世界に向けて日常的に発信することができる．ホームページの内容であるコンテンツ（contents）は，学習・研究・仕事・趣味に関すること，家族・友人・地域・学校・職場の紹介，主義主張，夢など自分が重要と考え，他人にぜひ知ってもらいたいことであれば何でも

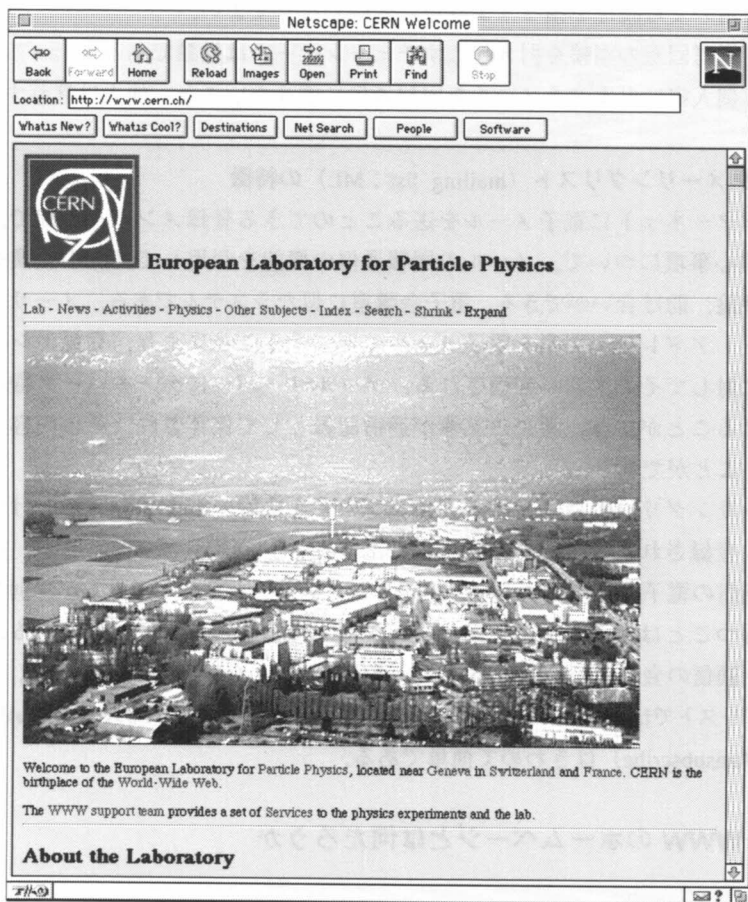



図 4-5　WWWのシステムを開発した，スイスにあるCERNのホームページにアクセスした画面（許可を得て掲載）．http://www.cern.ch/

よいが，発言が他人の権利を尊重し，個人として責任のとれるものでなければならない．なお，個人のホームページを自分が所属する機関（大学や企業など）のサーバーを利用して立ちあげる場合には，ホームページの内容もその組織でのネットワークの利用規定に従うものでなければならず，ホームページ開設者は政治・宗教・営利に関することには細心の注意が必要である．

ホームページの制作では，まずコンテンツをマルチメディア素材で作成する．次に，HTML（HyperText Markup Language）というハイパーテキストを記

述するための言語を用いて，コンテンツを編集する．すなわち，テキストにタグ（tag）という目印を付けて（mark up），通常

＜タグ＞　テキスト　＜／タグ＞

という形で，多くの場合情報のリンク先を設定して，HTML 文書を作成する．音声・静止画・動画は通常別のファイルにして，そのファイル名や存在するパス名を文書ファイルに記述して引用する．ただし，音声や画像のパソコンへの組込みには時間がかかるのであまり大きなファイルにしないように注意する．

最後にブラウザを用いてコンテンツの表示状態を確認してから HTML ファイルとして発信する．ホームページの制作におけるマルチメディア素材の作成，コンテンツの編集には，プログラミング技術よりはむしろ自己表現力，デザイナーとしてのアートのセンスが必要とされる．

あるホームページから他のホームページへのリンクは WWW における強力なコミュニケーション，情報共有の方法である．WWW では，ホームページのリンクが一つのホームページではとうていカバーすることのできない，情報共有の広がりと深さを与えている．他のホームページにリンクを張ることは，前もって了解を取るべきことが明示されていない限り，暗黙の合意として許されているので，関連するホームページには積極的にリンクを張って自分のホームページを情報価値のあるものにするとよい．このリンクを利用してホームページを次々と閲覧して情報収集してゆくことを“ネットサーフィン”とか“ネットナビゲーション（航行）”と呼んでおり，インターネットの大きな楽しみの一つである．

4-8　インターネットに個人で接続するには

個人で家庭にあるパソコンからインターネットにアクセスするにはどうすればよいだろうか．

（1）必要な器材

（a）パソコン一式

OS は Windows 95，MacOS が便利である．これらには，ダイヤルアップ IP 接続用の PPP（Point to Point Protocol）などの基本的なソフトが内蔵されてい

る．MS-DOS および Windows 3.1 の場合，ネットワーク用のソフトを別に導入する必要がある．

（b）モデムまたは ISDN 接続用のターミナルアダプタ（TA：Terminal Adapter）

TA はディジタル回線にコンピュータの他に電話，FAX，モデムを接続するための通信機器である．モデムはアナログ回線用である．

（2）インターネット関連ソフト

一通りのことができるように基本的なソフトは OS に付属しているが，実際に利用する場合に便利なソフトが，フリーウェアまたはシェアウェアとして配付されている．

WWW ブラウザ：Netscape Navigator，Internet Explorer，Mosaic など
メーラー：ALmail，Eudora など
telnet：NCSA Telnet，areTerm など

【大学教育の情報化・国際化へのインターネットの有用性】

現在のところ日本の大学ではインターネットを大学の広報手段あるいは教員の研究手段として利用しているところが多いが，インターネットは広く大学教育全体に有効に使える潜在的可能性をもっている．たとえば，大学の“情報化・国際化”を図るには，参加人数からもコスト的にも，インターネットの活用が最適である．インターネットにより，ローカルなキャンパスからグローバルな電子キャンパスを構築することが容易にできるからである．一大学の教員スタッフではとうてい不可能な教育がインターネットを有効に使えば，時間と場所に関係なく実現できる可能性が開けてきた．インターネットを使えば，世界中の大学や研究機関の電子図書館やデータベースへのアクセスおよび教育・研究情報などの即時の交換が可能になった．たとえば，研究室のパソコンから WWW のシステムを開発した CERN（European Laboratory for Particle Physics）にアクセスして最新の素粒子物理実験の情報を入手できるし，また教室のパソコンからルーブル美術館にアクセスすることもできる．

(3) 接続形態

モデムを利用した公衆網電話回線（アナログ）経由が安価で一般的であるが，通信速度の上限が現在 56 000 bps であるので,画像などの大きなファイルの受信には時間がかかる．より高速で安定した接続を考えるならば ISDN（ディジタル）による接続がある．ISDN による接続には，新たにディジタル回線を敷設するか，既設のアナログ回線をディジタル回線に契約変更しなければならない．この場合ユーザーはターミナルアダプタなどを用意する必要があるが，通信速度は 64 Kbps ないし 128 Kbps になり，ストレスを感じない高速な通信が期待できる．

(4) ネットワークプロバイダ（provider）経由のインターネット接続

ネットワークプロバイダと契約し，家庭から電話回線や ISDN を使って，プロバイダの運用するネットワークにアクセスし，インターネットへの接続サービスを受ける．プロバイダによって料金体系やサービスが異なるのでこれらをよく確認してからプロバイダを選択する必要がある．

ネットワークサービスにおける利用者とネットワークとの接続点をアクセスポイント（access point）と呼ぶが，電話回線を使う場合，自分が現在いる場所に最も近い所に開設されているアクセスポイントにつなぐことにより，通信料金を節約することができる．

(5) 商用パソコン通信経由のインターネット接続

パソコン通信に加入して,そこからインターネットに接続することもできる．

大学などの教育機関や企業に在籍していてネットワークにアクセスできる資格を持っているものは，いったん大学や企業のネットワークにダイアルアップ ppp 接続してインターネットを利用することもできる．

演習問題 4

4-1 通信・情報メディアとして，電子メール，電話，FAX などがある．これらの長所，短所をあげよ．また，これらをどのように連係させ使い分けるとよいか．

4-2　クライアント/サーバー・システムとは何か．このシステムを開発させた技術的要因は何か．また，このシステムは仕事をする人にはどういう意識変化を引き起こしたか．

4-3　インターネットがアメリカで誕生してから全地球的規模に拡大するまで，どのように進化してきたかを調べよ．

4-4　インターネットを支える基本的な考え方，組織原理は何か．

4-5　インターネットにおける RFC（Request For Comments）とは何か．

4-6　IP インターネットとパソコン通信との共通点，相違点は何か．

4-7　インターネットが新聞やテレビ，ラジオなどの既存のメディアと根本的に異なる点は何か．

4-8　コンピュータ/インターネットは，教育にどのように活用できると思うか．具体的な科目，分野を選んで調べよ．

4-9　市民運動やボランティア活動にインターネットはどのように活用できるか．具体的な活用例を探しそれを示せ．

4-10　行政サービスの電子化により市民生活を便利にすることができるか．具体例をあげて考察せよ．

4-11　WWW のホームページでリンクを張るとはどういうことか．リンクを張ることの意義は何か．

4-12　自分の属するネットワークのネットワークポリシー，AUP を調べよ．

第 5 章

コンピュータ/インターネットの課題と将来の在り方

本章では，コンピュータ/インターネットには現在どのような問題点があるか，さらにその将来動向について説明している．コンピュータ/インターネットを将来の社会でどのように生かしたらよいか，コンピュータと人間の在り方についての一つの考え方を提示するので，自分なりの考えをまとめてほしい．

5-1　コンピュータ/ネットワークの問題点と今後の課題

コンピュータ/インターネットを利用する上でどのような問題点があり，それらをどのように解決していけばよいかを考える．

(1) データのバックアップ（backup，短期保存）

システムが故障したときのために，データやプログラムなどは，バックアップ（別の記憶媒体にコピーしておくこと）をとるべきである．特にサーバーなどでは，ハードディスクの信頼性の向上と高速アクセスを目的とし，複数のハードディスクを用いた RAID（Redundant Arrays of Independent Disks）と呼ばれるシステムや，不意の停電などによるシステムダウンの対策用として，無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power Supply）の導入を考慮する必要がある．

（2）電子情報の長期保存と機械可読性の長期維持

ここで問題にする電子情報の保存は，バックアップのような短期（長くて数年）でなくて，数十年，数百年の保存である．和紙を用いて墨で書いた古文書が数百年を経た今日でも読むことができるように，たとえば，電子図書館に蓄積された貴重情報を文化遺産として永久に保存しておくことは人類の共通責任である．また，普通の市民が個人史や家族史を遠い後世の子孫に遺しておけるという楽しみも生まれる．

ディジタルな情報保存では，記憶媒体が劣化してデータが物理的に読めなくなることがある，またデータ読み取り装置が技術の進歩により製造中止・保守対象外になり，データが機械可読できなくなる恐れも非常に大きい．たとえば，5インチのフロッピーディスクに保存されたデータはすでに一般には読めなくなってきている．特定の機械やソフトに強く依存することがない，互換性の高い電子化文書の作成法の普及と保存法の開発，および保存された大量情報の定期的な記憶媒体の変換が必要となる．

（3）情報公開の問題

特に日本で非常に立ち遅れている情報公開に，立法・行政・司法資料のデータベース化とその一般公開がある．市民の誰もが，場所と時間を選ばずにこれらの1次情報に無料か低料金で直接アクセスすることができるようにしなければならない．公共サービス機関の情報公開は民主主義の基礎である．

大学図書館も電子図書サービスを強化し，市民に情報公開していかねばならない．

（4）暗号化による機密情報の保護とオリジナルであることの証明

暗号（encryption）を使用して，ファイルや電子メールなどの情報の機密を保護することをいう．暗号文を普通の文に直す復号化や電子認証の機能も含む．

インターネットでの暗号化には，サービスごとに各ユーザーが個別に暗号化ツールを用いて行う方式と，LAN上のすべてのパケットを一括して暗号化するシステムを用いる方式がある．前者の方式の暗号化ソフトとしては，たとえば 電子メールを暗号化するPGP（Pretty Good Privacy）という公開鍵方式の暗号化技術を用いたフリーウェアがある．ただし，暗号化メールのイン

ターネットでの全面的な使用は，送受両方のサイトで同じ方式を使用しないと意味がないので，ユーザーがどのような暗号化方式を共通に採用するかとか，暗号化を法律的に制限を付けて認めたり，全く認めなかったりする，国ごとによる法制度の違いにより，現時点では一般的ではない．

電子認証（authentication）とは，電子署名あるいは電子捺印されたメッセージが確かに本人によるものであり，またメッセージが改竄されていないことの証明問題である．電子投票には，真正な有権者が 1 票を投じたが，投票の秘密は守らなければならないという問題がある．また，電子化日記やマルチメディア作品の全体が作者自身のオリジナル版であること（贋作でないこと）や，初版であることを証明する問題がある．たとえば，昔のように作家が原稿用紙にペンで小説を書いたり，画家がキャンバスに絵筆を使って描いているのであれば，作者直筆の初版作品であるかどうかの鑑定の問題は容易に解決できる．しかし，ディジタル情報は，第三者が全く同じものをコピーしたり，書き換えたりすることはきわめて容易にできるので，データが真正であることや改竄されていないことの証明は，法的な権利に関わることや芸術性などの問題がからむので大変重要である．

（5）セキュリティ（security）対策

セキュリティとは，コンピュータ/ネットワーク（そこにあるデータを含む）に許可なくアクセスされることを防ぐことである．セキュリティの問題が解決されれば，技術的には電子商取引や電子マネーの流通が可能になる．

（a）不正アクセス

コンピュータ不正アクセスとは，システムを利用する者が，その者に与えられた権限によって許された行為以外の行為をネットワークを介して意図的に行うことである（コンピュータ不正アクセス対策基準，通商産業省告示第 362 号）．不正アクセスを発見した場合は，速やかにシステム管理者に連絡することが大切である．

（b）ユーザー ID およびパスワードの管理

ユーザー ID およびパスワードの注意深い管理は，ユーザー個人の利益を守るだけでなく，システム全体の安全のためにも必要である．

そのためには，次のようなことに注意する．

1）他人に見られるところにパスワードのメモをおかない．

2）パスワードは他人が容易に推測できるものにしない．電話番号，生年月日や銀行カードの暗証番号とは全く別のものにする．英文字，数字，特殊記号を混合したものにするとよい．

3）システム管理者から与えられたパスワードのままにしておかず，ときどき変更する．

4）パスワードなしのユーザーIDは原則として作らない．ゲストのIDは利用条件を厳しく制限する．

5）複数のユーザーIDをもっている場合は，それぞれ異なるパスワードを設定する．

6）自分のIDが無断で利用された形跡がないか，ファイルの作成日時や課金状況などをときどき調べる．

最近ではこのような煩雑なパスワード管理をさけて，使い捨てパスワードを使うシステムもある．

（c）データ・情報の管理

ファイル化されたデータや情報は，機密保護や消失防止のために適切に管理する必要がある．そのためには

1）ファイルのバックアップを随時行う．

2）重要なファイルにはパスワードを付けたり，情報の暗号化を図る．

3）ファイルの属性には，内容の重要度に応じたアクセス権を設定する．

（d）ファイアウォール（fire wall：防火壁）

インターネット上でLANとその外部との間に設けて，外部からのLAN内への不正なアクセスや盗聴，ウィルス感染を防ぐためのセキュリティシステムのことである．外部とLAN内のすべてのデータ交換（IPパケットの通過）はこのファイアウォールを通して行うようにして，外部からLANへの侵入を防ぐ．

（6）コンピュータウィルス対策

コンピュータウィルスとは，プログラムやデータベースに対して意図的に何らかの被害を及ぼすように作られたプログラムであり，次の機能を一つ以上有するものである（コンピュータウィルス対策基準，通商産業省告示第139号）．

(a) 自己伝染機能

自らの機能によって他のプログラムに自らをコピーし，またはシステム機能を利用して自らを他のシステムにコピーすることにより，他のシステムに伝染する機能．

(b) 潜伏機能

発病するための特定時刻，一定時間，処理回数等の条件を記憶させて条件が満たされるまで症状を出さない機能．

【オレンジブック（the Orange Book），CC（the Common Criteria）】

オレンジブックとは，米国防総省が 1985 年に制定した「信頼できるコンピュータシステムの評価基準（Trusted Computer System Evaluation Criteria, TCSEC）」であり，セキュリティ・レベルを A，B，C，D の 4 区分に分けている．区分 D は，最小保護（minimal protection）と呼ばれるものであるが，実際は MS-DOS や MacOS などのように，システムとしてセキュリティ機能を備えていないものである．区分 C は，任意保護（discretionary protection）と呼ばれるシステムで，普通の UNIX や Windows NT のように，パスワード保護があり，利用資格のあるユーザーがファイルの読み・書き・実行のアクセス権を任意に管理できるシステムである．ただし，区分 C ではシステム管理者による不正には無力であり，セキュリティが破られた事例の 80％は組織内部からといわれるように，機密性の高い軍用あるいは電子商取引には不適切なシステムである．区分 B は強制保護（mandatory protection）といわれるもので，ファイルはラベルを付けて強制保護され，システム管理者の特権を強制的に制限することができる．UNIX のなかに区分 B を満足するものがある．区分 A は最も厳しい証明保護（verified protection）である．

CC は，オレンジブックを受けて，米国，カナダ，EU が共同で作成している，新たな情報技術セキュリティ評価のための共通基準のことであり，現在バージョン 1.0 が出ており，将来 ISO（国際標準化機構）の国際規格になる予定となっている．

オレンジブックおよび CC のガイドラインはインターネット上で公開されているので誰でも入手できる．

(c) 発病機能

プログラムやデータ等のファイルの破壊を行ったり，コンピュータに異常な動作をさせる等の機能.

また，特にコンピュータにダメージを与えることはないが，自分自身のコピーを作ってネットワークで接続されているコンピュータ間を移動するインターネットワーム（worm）もある．これらに対してウィルスを検出したり，退治したりするプログラムをワクチン（vaccine）という.

(7) ネチケット (netiquette)

インターネットやパソコン通信などのネットワークで，電子メールやWWW，ネットニューズなどの各種サービスを利用する上で利用者および管理者が守るべきエチケット/マナーのことをネチケット（network etiquette）と呼んでいる．インターネット上でのネチケットの詳細については，IETF（Internet Engineering Task Force：インターネット技術特別調査委員会）によるネチケットガイドライン（RFC1855）があるが，一般社会でのエチケット/マナーはネットワーク社会でも当てはまるので，ネチケットで迷ったときには，一般社会での常識的な礼儀作法から判断してほしい．たとえば，ホームページでは著作権や肖像権を侵害しないように配慮することは当然のマナーである．また，ネットワークが交通網に対応するものであることを知ってお

【ウイルス感染防止七箇条】

1. 身元不明のフロッピーディスクは使用を避ける.
2. 市販ソフトウェアは必ず使用許諾に従って使用する.
3. フリーソフトウェアは入手経路を確認して使用する.
4. オリジナルプログラムにはライトプロテクト（書き込み禁止）を施し安全な場所に保管する.
5. 外部から持ち込んだハードウェアは初期化してから使用する.
6. 不特定多数の人とのハードウェアやフロッピーディスクの共用を避ける.
7. ワクチンは信頼できるものを使用する.

（コンピュータウィルス対策基準，通商産業省告示第139号）

けば，何が適切・不適切な振る舞いかは自ずとわかる．たとえば，利用者はネットワーク上の通信の混雑をできるだけ回避するような使い方をしなければならないことは，日頃の交通渋滞から容易に推測できることである．

（8）システム管理者の責任と義務の明確化およびシステム管理者の特権の乱用や不正行為の防止

現在の日本のコンピュータ/ネットワークでは，システム管理者の責任と義務があいまいなまま運営されているサイトが少なくない．システム管理者の責任と義務を明確にする規程を作成しておく必要がある．一般ユーザーはシステム管理者がどのような特権をもっているかを承知してシステムを利用しなければならない．他方，組織の責任者はシステム管理者に特権の乱用や不正行為がないかどうか注意を払わなければならない．コンピュータは人間が創り出したものである以上，システム管理者の不正行為を技術的に防ぎきれないという根本的な問題が残されているからである．

（9）障碍者や高齢者を含む，誰もが使える，買えるコンピュータの開発

コンピュータ/ネットワークが障碍者や高齢者の日常生活や知的活動を支援する道具となるためには，次のようなハード/ソフトの技術開発および健常者の協力が期待されている．

●障碍者や高齢者の情報へのアクセスを助けるコンピュータ/ネットワーク
●障碍者，高齢者の自立や社会参加を助けるコンピュータ/ネットワーク
●障碍の種類と程度に細かく対応した入出力機器

健常者ばかりでなく，障碍者や高齢者にも使いやすく効率的な入出力機器，および人間が機械に合わせるのではなく，機械が人間に合わせる機器の開発が必要である．たとえば，視覚障碍者は音声入力よりもキーボード入力の方が効率的だが，手指の不自由な障碍者には音声入力や視線入力の方が便利である．視覚障碍者は GUI の OS およびアプリケーションソフトをそのままでは使いこなせないので，この問題を早急に解決することが望まれる．

（10）コンピュータと環境問題：環境にやさしいコンピュータシステム

（a）紙資源の節減

パソコンの普及により紙資源消費量の大幅な増加を招いている．電子化は

ペーパーレスをもたらすといわれたが，紙の総消費量の減少までに結びついていない．

（b）省電力

最近ではネットワークが普及し，パソコンでも終日電源をONにしたままにしておくことが多く，周辺機器も増加したので，省電力システムの開発・普及は急務となっている．米国環境保護局によるエナジー・スター・コンピュータ計画（energy star computers program）に基づく，節電機能を備えた，GreenPCやプリンタ，ディスプレイがすでに販売されている．

（c）拡張性を考慮したコンピュータの設計と選択

アップグレード（性能アップのための部品交換や増設）が容易にできる設計にして，ハードウェアの耐用年数を伸ばす工夫が必要である．拡張性に乏しい一体型（オールインワン型）パソコンは，省資源の立場からは好ましくない．

（d）パソコンのリサイクル

パソコンの進歩は速いので数年で取り替えることが常態化すれば，年間数百万台にものぼる，廃棄されるパソコンをどのように処分するか，さらにパソコンをいかにリサイクルさせるかが重要な課題となる．なお，リサイクルでは商用ソフトを第三者に譲渡することは現在の日本では利用契約上認められていないことに注意する．

5-2　現在のインターネットにはどのような問題点があるか

現在のインターネットには次のような技術的，経済的，社会的・文化的問題があり，これらの問題を解決して，インターネットを使いやすく，快適に，安全にしていかねばならない．

（1）技術的な問題

1）ネットワークやサーバーの管理・運営には高度の専門的知識が必要である．

一つひとつのネットワークを見ると少数のボランティアにより運営されている技術的に弱小なネットワークがあまりにも多い．

2）ネットワークの通信容量の大幅な増強およびディジタル回線の普及が急務である．アナログの電話回線の代用では遅すぎる．

通信容量が急激なコンピュータ技術の進歩と需要の増加に追いつかない．そこでマルチメディア情報を快適に送受信できない現象が起きている．

3）セキュリティ（security）を確保する．

ネットワークの不正利用の防止やネットワーク犯罪の技術的防止方法の確立が必要である．

（2）経済的な問題

1）国際水準の通信料金体系の実現が強く望まれている．

日本では電話料金をはじめとする通信コストが高すぎる．

2）データベースの利用料金の軽減が必要である．

データベースの構築には莫大な費用を要するが，有料化すると必要な情報にアクセスできなくなる人が出てきて情報格差を生ずる恐れがある．

3）資源の浪費を防ぐ．

通信資源も有限である．マルチメディア情報は資源消費量が大きく，通信回線の輻輳を招きやすい．LAN のネットワーク管理者は，情報をどの範囲のネットワークに限ってアクセスさせるかを考えなければならない．情報の適切なアクセス制限は，セキュリティの確保の上からも大切である．

4）インターネットのビジネス利用における規制緩和が必要である．

旧来からの規制のままでは，新しいビジネスを起こせない．

（3）社会的・文化的問題

市民がインターネットという自由でオープンな情報ネットワークを国際社会の中で発展させていくためには，次のような課題を自主的に解決し，情報民主主義を育ててゆく必要がある．

1）言論・表現の自由および通信の秘密を確保しなければならない．

通信における検閲や盗聴を防止しなければならない．日本では憲法により言論・表現の自由は保障され，通信における検閲は禁止されているが，国によっては政府によるインターネットへのアクセス規制や言論統制により，インターネットの自由でオープンな情報の流通が阻害される恐れがある．

2）プライバシー（privacy）を保護する必要がある．

たとえば，他人を誹謗中傷するような情報がインターネット上に流されても現在ではチェックの方法が事実上ない．肖像権の保護も必要である．

3）公序良俗に反する情報の流通を防ぐ．

たとえば，犯罪・テロ情報や人種差別など公序良俗に反する情報が流される恐れがある．また，猥褻（わいせつ）情報や暴力情報から子供や女性をいかに守るかという問題もある．

4）情報の信頼性を確保する．

個人が情報を自由に発信できるため，情報の真偽が確かでないことが頻繁に起こり得る．

5）知的財産権（所有権）と情報の自由な流通とのバランスをとる．

知的財産権とは，著作権や特許権，商標権などである．プログラムやデータベースは著作権の保護を受ける．インターネットを通じた情報の送信も著作権の対象になる（ベルヌ条約改定案，1996年）．たとえば，ホームページにも著

【インターネットにおける表現の自由と情報アクセスの規制】

インターネットは，多様な価値観と文化をもった人々が参加している，誰もが不特定多数を対象に即時の情報発信ができる，私的な性格をもつ通信と公的な性格をもつ放送という二面性をもったメディアである．インターネットを利用すれば，さまざまのレベルの性や暴力，薬物にかかわる情報を発信することもできる．このような情報の流通に対処するために，法的規制と選択的情報受信（フィルタリング）という二つの案がある．政府などによる法的な規制では言論の自由や表現の自由が侵害される危険性がある．フィルタリングは，WWW コンソーシアムによる PICS（the Platform for Internet Content Selection）のように，発信情報に対するレーティング（rating：格付け）を行って，見たくない/見せたくない情報をソフト的に排除する方法である．問題は，誰がどの段階で，情報のレーティング，フィルタリングをするかである．どのような情報にアクセスするかは，各ユーザーの判断に任せるというのが，インターネットの自由でオープンな精神に沿ったものであろう．たとえば，WWW のブラウザにはフィルタリング機能を組み込んだものもあるので，家庭では保護者の責任でレーティングを選択して子供に有害情報を見せないようにすることができるが，ネットワーク管理者の段階で一律にフィルタリングすることは，情報へアクセスする自由を侵害する恐れが大きい．

作権はあるので，許可を得ないでホームページの一部をコピーして利用することは許されない（ホームページにリンクを張ることは許される）．インターネット上を流通する情報の知的財産権を保護する必要はあるが，情報の自由な利用や共有が妨げられてはならない．両者の間で適度なバランスをとる必要がある．

6）国際的な文化摩擦を防ぐ．

●インターネットで流通する情報の 8 割が英語という英語の独占的支配の中で，多言語主義は守れるか，地方言語や少数民族言語はインターネットで使えるかという問題がある．

●国情の違いを無視して情報が流入するが，各民族の文化的多様性や伝統文化を守る必要がある．たとえば，インターネットでのアメリカ文化の圧倒的な進出に対する警戒感をもつ国は少なくない．

7）インターネット利用格差，情報の集中と遍在を解消しなければならない．

情報へのアクセスに関して，先進国と開発途上国の間に，また情報富者と情報貧者との間に大きな格差が生じて，先進国や情報富者に情報がいっそう集中し遍在することにつながっている．情報格差が所得格差を生み出す元になり，社会的な不安や摩擦を引き起こす可能性がでてきている．市民の誰もがインターネットを利用できるようにする必要がある．先進国は発展途上国のインターネットの基盤整備を支援しなければならない．

5-3 コンピュータ/インターネットの将来動向

（1）コンピュータ/ネットワーク技術は将来どうなるか

日々刻々と進歩するコンピュータ/ネットワーク技術の将来を予測することはきわめて困難であるが，コンピュータがノイマン型であるかぎりは，ごく近い将来はある程度予想できる．コンピュータ技術がいかに進歩しても，ノイマン型の本質は変わらないはずだからである．これからのコンピュータ/ネットワーク技術のキーワードは，高速化，大容量化，ハイブリッド（融合），軽薄短小化，信頼性，オープンな標準化，使いやすさなどである．

個々の具体的な技術については次のようなことが予想される．

1）ノイマン型コンピュータの二大機能は計算と記憶であるから，この二つの根本機能をますます強化する方向に発展してゆく．

i）RISCチップによるCPUの高速化，マルチプロセッサ化

ii）メインメモリの大容量化と高速化

iii）ハードディスク，CD-ROM，DVDなどの補助記憶装置の巨大容量化と高速化

2）通信の重要性が飛躍的に高まってきたので，コンピュータ通信の機能増強が進む．

伝送速度が数100 Mbps以上の高速で大容量の情報通信基盤の整備と低料金での利用提供が不可欠である．ATM技術を使ったLAN機器や無線LANの普及が進む．

3）コンピュータ技術と通信技術や放送技術との融合が進む．

放送のディジタル化，インターキャスト（インターネットテレビ/ラジオ），CTI（Computer Telephony Integration）システム，TV電話，ビデオ会議の実用化がはかられる．

4）3次元のマルチメディア環境の実用化が計られる．

マルチメディア素材をアプリケーションソフト上で高速に統合処理して表現力を高めるコンピュータ環境が提供される．たとえば，CG映画，ディジタルセット，バーチャルリアリティなどが普及する．

5）高性能MPUとメモリの大容量化により，周辺機器の高速化と入出力機器の使いやすさが向上する．たとえば手書き文字の認識や音声認識が進歩する．

6）モバイルコンピューティング（mobile computing）が普及する．

ノート型/サブノート型パソコンや電子手帳などのPDA（Personal Digital Assistance，携帯用個人情報通信機器）の普及が進む．携帯電話とパソコンを組み合せて電話回線のあるところであれば，どこでもいつでも手軽に情報にアクセスできる．

7）OSはどうなるか．

現在OSとしては，パソコンではWindows 95，Windows NT，MacOSが，WSからスーパーコンピュータまではUNIXが主として用いられているが，1台のハードウェア上で複数のOSを選択できる環境になりつつある．ネットワークのOSではUNIXからWindows NTへの代替が進むことが予想される．

8）ホームコンピューティング（コンピュータの家電化，インターネットの家電化）が進む．

i）一家に1台のパソコン，あるいは家族の一人ひとりがパソコンを使うようになる．障碍者も高齢者も誰もが使える，買えるパソコンが開発される．

ii）家庭用の教育と娯楽のためのエデュテイメント（edutainment）ソフトが充実してくる．

iii）普通の市民が使える，低価格の，機能を絞った簡単パソコンやネットワークコンピュータ（Network Computer：NC）が普及する．

9）電子出版技術が普及する．

SGML（Standard Generalized Markup Language）による構造化された電子化文書の作成が進む．

10）大規模電子図書館の構築が進む．

CERN 仮想図書館，学術情報センター NACSIS-ELS，国立国会図書館のパイロット電子図書館プロジェクトなどがある．

11）パソコン化がさらに強力に進行する．

高性能化が進むパソコンが，開発の容易さと低価格であることから，従来 WS や専用機の分野と考えられてきた市場でも優位になってゆく．たとえば，ネットワーク用のサーバーでも UNIX サーバーよりも Windows NTを採用したパソコンサーバーの需要が急伸している．将来の WS の市場は，大規模なデータ

【バーチャルリアリティ（VR，Virtual Reality：仮想現実）】

バーチャルリアリティとは，コンピュータにより3次元の仮想的な世界を創り出す技術である．人間が仮想世界の中に入り込み，あたかも現実世界を体験しているような感覚で歩き回ったり，物体をつかんだりすることができる．シミュレーションやゲームなどの分野での応用が始まっている．本来のバーチャルリアリティでは，高性能のグラフィックス用 WS および3次元立体視用のヘッド・マウンテッド・ディスプレイや対象の操作のためのデータ・グローブなどの特殊なツールを必要とする．

他方，VRML（Virtual Reality Modeling Language）は3次元 CG 表現を記述する言語であり，WWW のホームページでは VRML ファイルを読み出して簡易なバーチャルリアリティを体験できるようになっている．

ベースやトランザクション処理などを担う基幹システムや，コンピュータサイエンスやコンピュテーショナルサイエンスでの専門的な利用などに限られてくる可能性がある．なお，数値制御（NC：Numerical Control）装置の分野でも高価な専用機からパソコンNCへの代替が進む．

１２）パソコンは将来どうなるか．

IBMパソコンは，表5-1に示すように，15年でCPUのクロック周波数は40倍，ビット数は4倍，メモリは2000倍，外部記憶は10000倍に増えている．パソコンの性能がいかに急激に向上したかがわかる．そうすると西暦2000年頃には，クロック周波数は800～1000MHz，メモリは数GB，HD容量数百GBから1TBのパソコンが出現すると予想される．

表5-1　IBMパソコンの15年の進歩

IBM PC	1981	1996
MPU	i8088	Pentium
クロック周波数	5 MHz	200 MHz
CPUビット数	16ビット （ただしバス幅は8ビット）	32ビット
メインメモリ	標準16 KB 最大640 KB	標準16～32 MB 最大128～512 MB
外部記憶	FD 160 KB	HD 1～2 GB
ディスプレイ アダプタ	MDA/CGA/EGA 320×200/360×400	VGA/SVGA/XGAなど 640×480/800×600
画素構成（ドット）	640×200など	1024×768/1280×1024など
基本ソフト	PC-DOS 1.0	Windows 95

（2）インターネットは将来どうなるか

パソコンが誕生したときもその将来を冷ややかに見る人が多かったが，インターネットの将来についても懐疑的な人がコンピュータサイエンスの専門家や既存のメディア関係者にも少なくない．しかし，インターネットは今後も爆発的な勢いで発展を続けてゆくものと予想できる．たとえ，技術的な困難や法律的な問題が生じても，インターネットを成長させていこうとするパワーは非常に大きく，インターネットが途中で挫折してしまうことはないと

考えられる．なぜなら，パソコンが誕生したときと比べて，現在のインターネットは，技術，投下される資本と人，ユーザー，文化的・社会的影響力のスケールがけた違いに大きいからである．

すでにインターネットは，次のように，われわれの社会に不可欠な情報基盤としてしっかりと根付きはじめている．

1）世界中で数千万というパソコンがすでに仕事や生活に使われており，それらが接続された**インターネット**は全地球規模で活用されている．

2）人間は，一人ひとりが新たに獲得した自由でオープンな自己表現の手段，コミュニケーションの手段，共同作業の手段を放棄することはできない．

3）多数の企業が社内に**イントラネット**（Intranet）と呼ぶ，TCP/IP や WWW などのインターネット技術を使った LAN を構築し，社外のインターネットと接続するなど，すでにビジネスに必須の情報通信基盤として大々的に使用している．

4）日米間の国際通信では，すでにインターネット向けの回線容量が電話向けの回線容量を上回っている．

（3）プログラミングとプログラミング言語は将来どうなるか

プログラミングについては次のようなことが予想される．

1）普通のユーザーは，アプリケーションソフトを使ってほとんどの仕事ができるようになるから，自らプログラムを作成して問題を解釈する必要は少なくなる．プログラミングは知らなくてもコンピュータを使って，たとえば作家がワープロを使って小説を書くように，創造的な仕事がじゅうぶんできる分野が多いことに注意する．

2）本格的なプログラムの作成は，ソフトウェア開発の専門家やコンピュータ制御技術者，コンピュータサイエンスやコンピュテーショナルサイエンスの研究者に限られてくる．

3）プログラミング自体が現在より簡単になる．簡易言語化とビジュアル化がいっそう進む．

4）インターネット用のプログラミング言語として Java が注目されている．特定のハードウェアや OS に依存しないアプリケーションソフトを作ることができるからである．

(4) 高速・高機能・高知能コンピュータへの試み

より速く，より高い機能を目指したコンピュータの開発競争が続けられている．特に現在のノイマン型コンピュータの限界を超える「非ノイマン型コンピュータ」の開発研究が進行している．

(a) 並列処理 (parallel processing) コンピュータ

並列処理コンピュータとは，一つのプログラムの処理を分割してそれぞれを有機的に結合した複数のプロセッサ (PE：Processing Element) に分担させて同時並行的に処理するコンピュータのことである．標準的な UNIX に並列処理用の機能を付加した OS と並列処理専用のアプリケーションプログラムにより，3次元の画像処理や大規模な数値計算などに威力を発揮する．近年 MPU の高機能化に伴い，それらを 1000 個以上結合した超並列処理 (MPP：Massively Parallel Processing) コンピュータも開発されている．

高速化技術にはスーパーパイプライン (super pipeline) 方式，スーパースカラー (super scalar) 方式，プロセッサ間結合ネットワーク (マルチプロセッサ) などがある．

(b) 人工知能 (AI：Artificial Intelligence)

人工知能とは，広義には人間の知能をコンピュータ上に実現することを目指した技術の総称であり，分野としては，知識工学，エキスパート (expert) システム，自然言語理解，ロボティックス (robotics) などがある．人間による知能的な仕事をコンピュータに代行させるシステムを実現するためには，専門的な知識と経験のデータベース化とその活用のアルゴリズムの確立が必要であり，そのためにファジィ (fuzzy) 論理やニューラルネットワークなどの新しい理論の適用も試みられている．このような技術を応用したものとして，病気や故障の診断のエキスパートシステムや，英語-日本語などの機械翻訳 (machine translation) システムがある．

(c) ニューロコンピュータ (neurocomputer)

ニューロン (neuron：神経細胞) の機能を模した，多数のセルからなるニューラルネットワークを構成して，人間の脳がもつ，学習やパターン認識などの優れた情報処理能力の人工的実現を目指そうとするコンピュータのことである．現在のニューロコンピュータは，主にディジタルコンピュータを用いてシミュレーションにより実現されているが，シリコンチップ上に人工神経素子を集積した脳型コンピュータの開発も行われている．ニューラルネットワークを

用いるとノイマン型コンピュータでは計算量が複雑になりすぎて解けない問題(たとえば，巡回セールスマン問題)を比較的短時間で近似的に解くことができる．

5-4　コンピュータ/インターネットの利用に必要な心構え

コンピュータ/インターネットを利用する際には，次のような心構えが必要である．

1）コンピュータ/ネットワークを使って自分は何をしたいのか，明確な目的と具体的な仕事をもつこと．そして自らがコンピュータと他者に積極的に働きかけなければならない．

2）情報は，受信するだけでなく，自ら発信する．自分が考えたことを気後れせずに発表できること，自分の発言に責任がとれることが大切である．

3）仕事の目的を達成するために，コンピュータ/ネットワークを利用して問題解決の手段を見出せること．

4）大量の情報の中から必要な情報を取捨選択し仕事に活用できること．

5）コンピュータの特徴と限界を心得て，使いこなすことができること．コンピュータが出した処理結果に対しては常に謙虚であること．

6）コンピュータ/ネットワークの潜在的可能性を洞察できること．コンピュータ/ネットワークのもたらす文化や社会の変化を予測し，それに柔軟に対応できること．

コンピュータの高速化とメモリの大容量化やネットワークの構築は，従来はとうてい考えられなかったことを可能にさせ，コンピュテーショナルサイエンスやコンピュータグラフィックス(CG)，インターネットなどの新しい科学や技術，文化を出現させた．たとえば，最近の天気予報の進歩は，スーパーコンピュータを用いて地球大気の状態を解析する「数値気象学」の成果によるところが大きい．また，「計算物理学」や「計算化学」，「計算統計学」は，科学の一分科を形成しつつある．カオスやフラクタルの理論と応用はコンピュータの支援なしには誕生しなかったし，今後の発展もないと予想できる．さらに，今後の映画の制作にCGは欠かせないものとなろう．

さらに，非ノイマン型コンピュータは，ノイマン型コンピュータではまっ

たく不可能であった情報処理を可能にさせるポテンシャルをもっている.

したがって，ハードウェア，ソフトウェアの基礎知識をもち，コンピュータの本質を学んでおけば，将来コンピュータの新しい利用法が現れたとき，すでに学んだことの応用がきき，さらには自ら新しいコンピュータの可能性を切り開くこともできる.

5-5　21 世紀の高度情報化社会における人間の在り方

(1) 人間一人ひとりの考え方・生き方が問われている

普通の個人が現在のスーパーコンピュータ並みの機能を有するパソコンをもつようになる時代がもうすぐそこまで来ている．人間の脳の計算能力，記憶能力がコンピュータにとうてい対抗できないのであれば，知的活動において人間に残された役割は何だろうか．それらは

- 考えること
- 疑問をもつこと
- 好奇心をもつこと
- 自由に発想すること
- 新しい文化を創造すること
- 脳と生命を大切にすること

などであろう.

インターネットにより，コンピュータとコンピュータが，人間と人間が結ばれたとき，人間にできることは何だろうか．それらはおおよそ次のようなことである.

- 知り合うこと
- わかり合うこと
- 助け合うこと
- 情報を公開すること
- 情報環境を守ること
- 開かれたコミュニティを構築すること
- 自由で公正な社会改革へ参加すること

（2）インターネットの潜在的可能性

インターネットの発展は，次のような文化的・社会的な変革を招来する潜在的可能性をもっている．

1）インターネットは，主体的な個人とグループによる新しい文化の創造を支援する道具となり得る．インターネットを利用すれば，誰もがマルチメディア作品を全世界の人々に問えるという，表現の自由，出版の自由，配布の自由が得られる．

2）インターネットは，社会を変えることを支援する道具となり得る．

インターネットは，オープンで自律的なネットワーク市民（**ネチズン**：netizen）の協同の輪を創り出せる．

3）インターネットは，市民による直接民主主義を支援する道具となり得る．

- インターネットは市民誰もが日常的に自分の意見を発表できる手段を提供する．特に市民社会におけるマイノリティ（少数派）の発言・発表の自由を保証し，拡大できる．
- インターネットを利用すれば，市民一人ひとりが民主的な決定過程に参加できる．
- 電子情報公開制度が確立すれば，市民はインターネットを利用して，「知る権利」を行使し，立法・行政・司法の三権機関の活動を市民が直接チェックすることができる．

コンピュータ/ネットワークは，科学技術的には第2次産業革命をもたらしたが，社会文化的には第2次市民革命を地球的規模で招来する可能性を秘めている．このインターネットによる市民革命を成功させるためには，誰もがコンピュータとインターネットを使用でき，全世界的に通信の自由が保証され，言論・表現の自由と責任が守られなければならない．このようにコンピュータ/ネットワークの将来を見てくると，21世紀の高度情報化社会を生きようとするわれわれ地球市民の責務は誠に重く大きなものがある．

【本書の結論】

コンピュータは自ら創造することはできないが，われわれ人間は，コンピュータを道具として，新しい文化と民主的な情報社会を創り出すことができる．

演習問題5

5-1　ある会社で部長が部下に自分の ID とパスワードを教えてパソコン操作を代行してもらっていた．ある日部長が指示した記憶のない取引でトラブルが発生した．この場合，部長にも責任は及ぶか．

5-2　インターネットでの表現の自由と通信の品位はどのようにすれば両立させていけるだろうか．

5-3　インターネットにおいて知的財産権と情報の自由な流通はどのようにバランスをとればよいだろうか．

5-4　日本の立法・行政・司法資料の情報公開制度にはどのような問題点があるか．日本では電子情報公開制度が整備されていると思うか．たとえば，国会の議事録や裁判の判決文を一般市民がインターネットを利用して読むことはできるか．日本で電子公開制度の発達を妨げている要因は何か．

5-5　日米の電子情報公開制度の違いを調べよ．

5-6　コンピュータ/インターネットが一般家庭まで普及すると，現在の郵便，新聞はどうなるだろうか，またレンタルビデオ屋はなくなるだろうか．

5-7　非ノイマン型コンピュータはどのような特徴をもったコンピュータかについて調べよ．

5-8　人工知能（AI）とは何だろうか．人工知能技術の応用例をあげよ．

5-9　現在のハードウェア/ソフトウェアは障碍者にとってどのような問題があるか，障碍者にとって使いやすいコンピュータ/ネットワークとはどのようなものか，コンピュータ/ネットワークが障碍者の自立や社会進出を支援する道具となっている事例を調べよ．

5-10　これからの高齢化社会において，コンピュータ/ネットワークをどのように生かせばよいか．高齢者が使いやすいコンピュータはどのようなものであるか．

総合演習問題

1．パソコンの誕生から今日までの発展の歴史を概観せよ．

2．ノイマン型コンピュータの誕生から今日までに起きたコンピュータ利用上の画期的な技術をいくつかあげ，それらについて簡単に説明せよ．

3．ノイマン型コンピュータの特徴と限界について述べよ．

4．コンピュータが単なる計算機械から知的活動全般を支援する機械に進化・変身した技術的要因は何か，また人間的要因は何か．

5．日本語の漢字かなまじり表記はきわめて非効率，不合理で情報の国際競争に勝てないから，日本語はローマ字化すべきであると主張する人がいる．この主張に対して自分の考えを述べよ．

6．日本語ワープロについて次のことを調べよ．

1）開発過程でどのような問題があり，それをどのように解決してきたか．将来の技術の発展方向を予想するとどうなるだろうか．

2）これからの学習や研究に役立てるにはどうすればよいだろうか．

3）今日の日本の文化にどのような影響を及ぼしているだろうか．また将来の日本の文化にどのような変化をもたらすであろうか．

7．マルチメディアは活字離れや文字表現の衰退をもたらすと思うか，思わないか，理由を付けて述べよ．

8．ふつうの本と電子ブックのそれぞれの特徴をあげよ．

9．コンピュータサイエンスにおける頻出概念について具体例をあげて説明せよ．

10．これからコンピュータ/ネットワークをどのように学習や研究に活用していきたいか．

11．コンピュータをパソコンとして個人が自由に使えることはわれわれの生活にどういう変化をもたらしたか．

12．ネットワーク・コンピューティングの特徴と意義を述べよ．

13．コンピュータ/ネットワークが誕生から今日まで発展してきた歴史において，技術の情報公開がどのような効果をもたらしたかを事例をあげて説明せよ．

14．コンピュータと人間の脳のハードウェア/ソフトウェアの基本的な違いについて述べよ．

15．コンピュータ/ネットワークが人間の可能性を拡げている事例を調べよ．

16．パソコンのハード/ソフトの技術では，MPU や OS に見られるように，特定メーカーによる支配が続いている．この支配がもたらす，ユーザーにとり都合のよい点と好ましくないと思われる点を述べよ．この支配は今後も続くと思うか．

17．フリーソフトについて次の問に答えよ．

1）ソフトウェアが特異的にフリーで制作され頒布される技術的・人的理由は何か．

2）フリーソフトと商品ソフトの共通点および相違点を述べよ．

3）GNU のフリーソフトを頒布している人々は，ソフトの取り扱いや著作権についてどのような考え方をしているか．

4）フリーソフトはソフトの世界で今後どのような地位を占めると思うか．

18．インターネットの倫理と規制について，現在どのような問題が起きているか，またネットワークの規制に対してはどのような意見があるかを調べよ．インターネットにおいて言論・表現の自由，通信の秘密を守るためにユーザー，ネットワーク管理者，ネットワーク事業者に求められていることは何か．

19．人間はコンピュータ/ネットワークと今後どのように関わっていけばよいか，技術的，社会的，文化的観点から述べよ．

付　　　録

付録１　パソコンの選び方と付き合い方

個人でパソコンを買うときの注意事項や使い方について述べる．

（１）パソコンはどのような選び方・買い方をすればよいだろうか

（ａ）買う前にしておきたいこと，確かめておきたいこと

１）パソコンにある程度使い慣れておく．学生であれば情報処理実習で経験を積んでから買っても遅くはない．

２）具体的な仕事があり，是非とも使いたいときが買いどきと考える．

価格が安くなることを待つよりは，それまでの時間と経験を選ぶ方がよい．

（ｂ）どの機種を選べばよいか

近い将来マルチ OS の機種が販売されることが予想されるが，現在パソコンを買うとすれば，Windows マシンか Macintosh かという事実上二つの選択肢しかない．どちらの機種を選ぶかは，

１）市場原理に従えば，Windows マシンである．市場で圧倒的シェアを占める Windows マシン，特に DOS/V 機を買っておけば，事実上の国際標準機であるのでいろいろな面で有利である．

２）自分の好みに従うならば，どちらの機種でもよい．自分が使いやすいと思う OS やアプリケーションソフトがある機種を選ぶ．

３）大学や会社で使っているものと同じ機種を選ぶ．

４）パソコンに詳しい友人と同じ機種を選ぶ．

なお，入門者は WS を個人で買う必要はない．UNIX を勉強したければ，パソコン用の UNIX（互換）OS をインストールして使うことができる．DOS/V 機ならばフリーソフトの UNIX がおすすめである．

次に，デスクトップ型かノート型かは，パソコンを置くスペース，持ち運

びの必要性，操作性，眼に対するやさしさ，価格などを考慮に入れて，自分にふさわしい方を選べばよい．

（c）パソコンを選ぶ具体的なポイント

1）パソコンの基本性能を確かめる．

コンピュータの基本機能からいえることは，まずCPUは速ければ速いほどよく，メモリとハードディスクの容量は大きければ大きいほどよいということである．次にネットワーク機能やマルチメディア機能が最初から付いている方が好ましいと言える．拡張性にも注意しておきたい．CPUのアップグレードが不可能な機種や，拡張性に乏しいオールインワン型は，長く使う予定であれば将来困ることがある．

2）メーカーを決める．

Windowsマシンの場合には，DOS/V機かPC9800シリーズかという問題がある．Macintoshであれば，互換機でも問題はない．

3）価格を調べる．

4）アフターサービスを確かめる．同じ機種でもメーカー，販売店によって対応が大きく異なることがある．

（d）パソコンを買ってからやるべきこと

1）周辺機器を接続し，正常に動作することを確認する．

2）正規のソフトを使用する．

3）ハード/ソフトの登録を済ませる．

4）どんどん使ってみる．

（e）取扱説明書（マニュアル）はどのように扱えばよいか

1）使いながら必要な箇所を参照する．全部読むものではない．

2）わからない点は取扱説明書を調べるよりは，周りの人に尋ねるか，市販のガイドブックを見る方が早いことがある．

（2）パソコンとはどのような付き合い方をすればよいだろうか

1）パソコンは，便利な仕事の道具として割り切って，日常的に楽しく使うのがよい．そのためには，パソコンを使いながら，以下の知識を深め，確実にしてゆく必要がある．

a）アプリケーションソフトの使い方

b）OSの概要

c）周辺機器の使い方

d）自分の学習・研究・趣味などの専門分野

2）ネットワーク（インターネット，パソコン通信）に接続してパソコンと人間の可能性を広げる．たとえば，自分の関心のある分野の電子会議室やメーリングリストに加わって世界に活躍の場を求めたり，ボランティアとしてフリーウェア文化に参加したり，ネットワークを利用してNGO/NPO運動を支援することなどはどうだろうか．Usenetを始めたハッカーに学ぶことは多い．

付録2　情報処理実習と学生が習得すべきコンピュータの使い方

コンピュータおよびインターネットは，一般学生にとっては研究の対象ではなく，学習や研究などの知的活動を支援する道具，すなわち，計算と解析の手段，自己を表現する手段，コミュニケーションの手段である．そのために一般情報教育では講義とは別にコンピュータを用いた情報処理の実習が用意されているのが普通である．

実習では次のような心構えで臨むとよい．

1）何事も失敗を恐れず，touch and try の精神でやってみる．コンピュータはめったなことでは壊れない．

2）わからないことは教員やティーチングアシスタントに気軽に尋ねる．また，学生同士で教え合うことも大切である．

学生は卒業までに次の使い方などをマスターしてほしい．

1）日本語ワープロ

手紙，レポート，各種届け，OHPシート原稿，論文の書き方など．

これからの文書作成のためには，日本語ワープロが自在に使いこなせなければならない．情報処理実習では，日本語ワープロの使い方をまず習得してコンピュータ操作やGUIソフトウェアの使い方に慣れ，次第にコンピュータ利用の範囲を広げてゆけばよい．

2）電子メール，メーリングリスト

3）WWWのいろいろなサービス，特にWWWのホームページへのアクセスと作成

4）表計算ソフトや数式処理ソフトによるデータ処理と解析
5）ネットニュース，電子会議室へのアクセス
6）図表の作成
7）英文ワープロ
8）文献検索，データベース検索
9）ファイル検索とファイル転送
10）リモートログイン
11）アルゴリズムおよびプログラミングの基礎

付録3　情報処理技術者試験について

情報処理関係の認定試験や検定試験にはいろいろあるが，このうちもっとも権威があるのは，通産省が高度情報化のための人材養成を目指して実施している国家試験の「情報処理技術者試験」である．合格者には通産大臣から合格証書が授与される．試験区分は 17 あるが，試験の対象と水準からみて，まず第二種情報処理技術者試験と初級システムアドミニストレータ試験に挑戦してみるとよいだろう．この試験は，年齢制限はなく誰でも受験できる．

（1）第二種情報処理技術者試験

高校卒業程度の一般知識を有し，1 年程度以上の情報処理（コンピュータ）システムの経験を有し，情報処理システムについての基礎知識と情報処理システムの開発に関する基礎能力をもつ人が想定されている．試験で注目されるのは，個々のプログラミング言語（C，Fortran，CASL，COBOL から選択）の知識よりも，むしろ言語を問わない設計能力，および日本語の能力を調べようとしていることである．たとえば，システムエンジニア（SE）に求められる仕事は，顧客の要求を正確に把握し，それを分析し，解決法をコンピュータで表現することであるが，これらの仕事はすべて優れた日本語能力によって成し遂げられる．そのため，試験では話し方の技術，文章の書き方やビジュアル表現能力が試される．

（2）初級システムアドミニストレータ試験

高校卒業程度の一般知識を有し，1 年程度以上の情報処理システムの利用

に関する実務を有し，エンドユーザーコンピューティング（EUC：End User Computing）環境とツールの利用法に関する技術を有する人が想定されている．すなわち，この試験は情報システムを提供する側ではなくて利用する側を対象としており，合格者は利用者側のリーダーとして情報システムの管理と活用の指導に当たることが期待されている．試験ではエンドユーザーとしてコンピュータを仕事の道具として使うために必要な情報処理システムに関する幅広い基礎知識と情報処理システムの活用に関する能力が試される．また，EUC 推進のための表現能力も問われる．

付録4　システムエンジニア（SE）になるには

SE（エスイー：System Engineer）とは，ユーザーとプログラマとの間にあってシステムを分析し設計する専門家である．

読者の中には，コンピュータを学んで将来 SE になりたいと考えている人も多いと思うが，そういう人は学生時代に次のような基礎的トレーニングを受け，資質を磨いておくとよい．

1）人と対話でき，相手の論旨を聞き取れること．

ユーザーがコンピュータを使って何をやりたいのかを正確に捉えることが要求されている．

2）問題解決能力を養うこと，すなわち問題を発見し，分析し，解決の手順を考え出せること．

3）日本語，外国語による表現能力

4）専門に関する深い知識と専門外に関する幅の広い知識．

5）体力，根気，タフネス．

6）集中力，決断力．

7）統率力，協調性．

以上 8 項目のうち，コンピュータに直接関係しているのは，4）の 1 項目にすぎないことに注意する．

在学中に，第二種情報処理技術者試験に合格することを目標にするとよい．できれば第一種情報処理技術者試験にもチャレンジしてみたい．

付録5　さらに勉強するために—コンピュータサイエンスとは

読者の中にはコンピュータを研究対象に学問として学びたい人もいるかと思う．そのような学問分野を「**コンピュータサイエンス**（Computer Science, 計算機科学)」と呼んでいる．コンピュータサイエンスは，広く“情報科学・情報工学”と同じ意味で用いることもあるが，一般には“計算機および計算に関わる知識の体系，特にアルゴリズム，プログラミング，さらにはアーキテクチャの科学および工学”を意味している．ACM（Association for Computer Machinery，米国計算機学会）ではコンピュータサイエンスを次の九つの副分野に分けている（Communication of the ACM, vol.32, no.1, pp. 9-23, 1989)．

1）アルゴリズムとデータ構造
2）プログラミング言語
3）アーキテクチャ
4）数値計算と記号処理
5）オペレーティングシステム
6）ソフトウェア方法論およびソフトウェア工学
7）データベースと情報検索
8）人工知能とロボティックス
9）人間とコンピュータ間のコミュニケーション

また，ACM ではコンピュータサイエンスにおける基礎的な 12 の頻出概念（recurring concepts）を与えている（Communication of the ACM, vol.34, no.6, pp.68-84, 1991，国井利泰編：コンピュータサイエンスのカリキュラム，共立出版，1995)．

1）バインディング（binding）
2）大規模問題の複雑さ（complexity of large problems）
3）概念的，形式的モデル（conceptual and formal models）
4）整合性と完備性（consistency and completeness）
5）効率（efficiency）
6）進化（evolution）
7）抽象化のレベル（levels of abstraction）

８）空間における順番（ordering in space）
９）時間における順番（ordering in time）
１０）再利用（reuse）
１１）セキュリティ（security）
１２）トレードオフとその結果（trade-offs and consequences）

本書は一般情報教育の教科書であるので，コンピュータサイエンスの諸分野を学問的体系に沿って述べることはせず，コンピュータサイエンスの基礎的概念をすべて扱っているわけでもなく，一般情報教育の立場から必要に応じて取り上げている．

なお，コンピュータサイエンスを専攻したい人は，いままでのコンピュータ研究の歴史的経緯から，UNIX について勉強し，UNIX 文化の自由でオープンな精神に触れ，さらには UNIX が実際に使えるようになっておいた方がよいであろう．

付録６　参考文献と読書案内およびWWWホームページの紹介

本書を執筆するにあたって，参考にした文献および入門者向けのわかりやすい辞典・教養書などを以下に挙げておく（順不同）．コンピュータ関係の図書は，技術の進歩が急速なため，著者自身が技術開発に関わったものを除き，できるだけ新しいものを選んでいる．

図書館では，コンピュータ・情報処理・ネットワーク関係の本は，主として，007 情報科学，410 数学（411 代数学，412 数論，413 解析学，414 幾何学，415 位相数学，417 確率論・数理統計学，418 計算法，419 和算・中国算法），547 通信工学・電気通信，548 情報工学，549 電子工学，およびレファレンスコーナー（辞典，事典など）に分類されて配架されている．

（1）「コンピュータ概論」の参考書

高橋秀俊：情報科学の歩み（岩波書店，1983）．
三井田惇郎：情報工学概論（森北出版，1994）．
若月　昇：日常の感覚で考えた「私の」コンピュータ科学（富士通経営研修所，1995）．

川合慧：コンピューティング科学（東大出版会，1995）．
川端淑子：英語で学ぶコンピュータ概論改訂新版（オーム社，1995）．
有澤　誠・筧　捷彦・土居範久・廣瀬　健・深澤良彰・村岡洋一・安村通晃：コンピュータサイエンスをいかに学ぶか（共立出版，1995）．
浅野孝夫・今井　浩：計算とアルゴリズム－計算の科学－(オーム社, 1986)．

詳しく体系的に説明した成書もたくさんあるが，そのような本はコンピュータ使用経験をかなり踏んでから読むとよい．

（2）専門的な参考書

W. Aspray 著，杉山滋郎・吉田晴代訳：ノイマンとコンピュータの起源（産業図書，1995）．
日経バイト編：最新パソコン技術体系 '98（日経 BP 社，1997）．
神保進一：最新マイクロプロセッサ　テクノロジ（日経 BP 社，1996）．
斉藤信男編：ユーザーズ UNIX（岩波書店，1988）．
小林光夫・武市正人・鈴木卓治：UNIX ワークステーション入門（東京大学出版会，1992）．
B. Schneier/力武健次監訳，道下宣博訳：E-Mail セキュリティ（オーム社，1995）．

（3）辞典・事典など

日本規格協会：JIS ハンドブック情報処理用語・符号・データコード編（日本規格協会，1996）．
日経パソコン編：日経パソコン新語辞典 98 年版（日経 BP 社，1997）．
日経 BP 出版センター編：98 年版 情報・通信新語辞典（日経 BP 出版センター，1997）．
竹野萬雪：情報・通信略語辞典第 2 版（日刊工業新聞社．1994）．
コンピュータ用語辞典編集委員会編：英和コンピュータ用語大辞典第 2 版（日外アソシエーツ，1996）．
江村潤朗監修，オーム社編：図解コンピュータの大百科（オーム社，1995）．

専門的な辞典を入門者が使うとかえってわからなくなるので，それらは省いた．なお，CD-ROMの辞典やインターネット上にコンピュータ/ネットワーク用語集もいくつかあるので参照するとよい．

(4) 新書・叢書など

嶋　正利：マイクロコンピュータの誕生－わが青春の4004－(岩波書店，1987)．
神田泰典：コンピューター　知的道具考（日本放送出版協会，1985)．
森　健一・八木橋利昭：日本語ワープロの誕生（丸善，1989)．
佐藤修一：ディジタル数学に強くなる（講談社，1988)．
岩谷　宏：ラジカルなパソコン入門（筑摩書房，1989)．
汎田　礼：放課後のCプログラミング（翔泳社，1993)．
黒川利明：ソフトウェアの話（岩波書店，1992)．
田中　良太：ワープロが社会を変える（中央公論社，1991)．
村井　純：インターネット（岩波書店，1995)．
古瀬幸広・廣瀬克哉：インターネットが世界を変える（岩波書店，1996)．
星野　力：誰がどうやってコンピュータを創ったのか？（共立出版，1995)．
諏訪邦夫：パソコンをどう使うか（中央公論社，1995)．
中尾　浩：文化系のパソコン技術（中央公論社，1996)．
名和小太郎：サイバースペースの著作権（中央公論社，1996)．
野口悠紀雄：パソコン「超」仕事法（講談社，1996)．
石田晴久・後藤滋樹編：インターネットの使い方（共立出版，1996)．
情報科学技術協会編：情報検索のためのインターネット活用術（日外アソシエーツ，1996)．
（株）オージス総研：インターネット入門－基礎編（ドリーム・トレイン・インターネット，1996)．
岡部一明：インターネット市民革命（御茶の水書房，1996).
遠藤諭：計算機屋かく戦えり（アスキー，1996)．
C. Stoll/倉骨彰訳：インターネットはからっぽの洞窟（草思社，1997）
「イラストで読む」シリーズ（インプレス)．
G. Wyant，T. Hammerstrom/長尾 他 訳：マイクロプロセッサ入門（1995)．

R. White/福崎俊博 訳：パソコン入門（1994）.
R. White/福崎俊博 訳：ソフトウェア入門（1994）.
F. J. Derfler Jr., L. Freed/鷺谷好輝 訳：ネットワーク入門（1994）.
J. Eddings/村井純 監訳，鷺谷好輝 訳：インターネット入門（1994）.

（5）雑誌・新聞など

最新の情報を手に入れるのには何と言っても雑誌にかなわない．コンピュータ雑誌はそれこそ百花繚乱の状態である．まずは入門レベルの総合雑誌に眼を通すとよい．パソコンを買ったときには，そのパソコンの機種や OS の専門誌をときどき見ておくことをすすめる．また，インターネットやパソコン通信をはじめたときにはネットワーク専門誌を読むとよい．なお，最近では新聞でもコンピュータ関係の記事はよく載るので目を通しておくことが望ましい．

インターネットやパソコン通信が使えるようになるとホームページやネットニューズ，電子会議室からホットな情報が入手できるようになる．最後に本や雑誌よりも，パソコンに詳しい友達を見つけること．きっといろいろ教えてくれるはずである．

（6）WWW のホームページ

WWW のホームページは情報共有の宝庫，地球規模の巨大電子図書館である．本書の執筆で参照した WWW サーバーの URL を紹介しておく．

WWW に関する日本語による解説は

http://www.ntt.co.jp/SQUARE/howto.html

セキュリティ対策については

http://www.ipa.go.jp/SECURITY/index-j.html

このホームページにコンピュータ不正アクセス対策基準（通産省告示第 362 号）やコンピュータウィルス対策基準（通産省告示第 139 号）がある．

ネチケットについては

http://www.togane-ghs.togane.chiba.jp/netiquette/index-j.html

ここにネチケット・ガイドライン（RFC1855）の英語原版と日本語版があり，他にネチケットに関するさまざまな文献が紹介されている．

パソコン通信サービスを利用する人のルール＆マナー集については

http://www.nmda.or.jp/enc/rules.html

学術研究のためのインターネットの活用に関しては

http://www.phys.s.u-tokyo.ac.jp/local/net-for-research/net-for-research-toc-j.html

ネットニューズのニューズグループfjについては

http://www.cs.orst.edu/~takikawm/fj/index.html

市民運動でのインターネットやパソコン通信の利用については

http://www.jca.ax.apc.org./

ここには国内外の多数の市民運動（たとえば，インターネットの倫理と規制問題，国際連帯・国際協力など）のリンク先がある．

障碍者のインターネットの活用に関しては

http://www.chubu-gu.ac.jp/wic/ir/h-index.html

http://www.neting.or.jp/welfare/chime/

http://www.dais.is.tohoku.ac.jp/~iwan/japanese_res.html

を参照するとよい．

これらのURLは変更されていることがあるかもしれない．その場合には，WWWの検索エンジンを用いて，キーワード（検索語）により即座に必要なホームページを探し出すことができる．コンピュータによる検索がいかに強力であるかを実感してほしい．検索エンジンとしては，たとえば

Alta Vista：http://www.altavista. com/

Yahoo：http://www.yahoo.co.jp/

Infoseek：http://www2.infoseek.com/

NTT DIRECTORY：http://navi.ntt.co.jp/home.html

goo：http://www.goo.ne.jp/index.html

などがある．レポート課題が出されたら，これらの検索エンジンを使えばキーワードから，ただちに必要な資料を探し当てることができる．ただし，多くの場合，英文の資料であるから英語ができなければ宝の持ち腐れである．最後にわれわれの大学のWWWのURLは

http://www.isenshu-u.ac.jp/j-index.html

http://www.shibaura-it.ac.jp/

である．

索　引

数　字

英　字

和 文

か　行

さ　行

た　行

な　行

は　行

ま　行

や　行

ら　行

わ　行

著 者 略 歴

綾　皓二郎（あや　こうじろう）
1944年　岡山県に生まれる
1968年　東北大学大学院工学研究科修士課程修了
　　　　（株）東芝，東北大学医学部助手を経て
1986年　医学博士（東北大学）
1989年　石巻専修大学理工学部助教授
1993年　石巻専修大学理工学部教授
　　　　「電子計算機概論」，「情報理学」担当

藤井　龜（ふじい　ひさし）
1944年　広島県に生まれる
1967年　芝浦工業大学工学部卒業
1967年　芝浦工業大学工学部助手
1986年　医学博士（東北大学）
1989年　芝浦工業大学工学部助教授
1994年　芝浦工業大学工学部教授
　　　　「情報処理」，「コンピュータ入門」，「CAD」担当

1997年4月25日　第1版第1刷発行
2000年4月20日　第1版第4刷発行

著　　者　綾　皓二郎・藤井　龜
発 行 者　森北　肇
発 行 所　**森北出版株式会社**
東京都千代田区富士見1-4-11（〒102-0071）
電話 03-3265-8341/FAX 03-3264-8709
http://www.morikita.co.jp/
自然科学書協会・工学書協会　会員

印刷/エーヴィスシステムズ・製本/石毛製本

Printed in Japan/ISBN 4-627-82430-0